

МИНИСТЕРСТВО ОБРАЗОВАНИЯ И НАУКИ РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ
МЕЖДУНАРОДНАЯ АКАДЕМИЯ ИНФОРМАТИЗАЦИИ
СОЮЗ МАШИНОСТРОИТЕЛЕЙ РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ
МИНИСТЕРСТВО ПРОМЫШЛЕННОСТИ, ИННОВАЦИОННЫХ
И ИНФОРМАЦИОННЫХ ТЕХНОЛОГИЙ РЯЗАНСКОЙ ОБЛАСТИ
РЯЗАНСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ РАДИОТЕХНИЧЕСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ
ИМЕНИ В.Ф. УТКИНА

СОВРЕМЕННЫЕ ТЕХНОЛОГИИ В НАУКЕ И ОБРАЗОВАНИИ

СТНО-2023

**VI МЕЖДУНАРОДНЫЙ НАУЧНО-
ТЕХНИЧЕСКИЙ ФОРУМ**

Сборник трудов

Том 6

Рязань
2023

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

Современные технологии в науке и образовании – СТНО-2023 [текст]: сб. тр. VI международ. науч.-техн. форума: в 10 т. Т.6./ под общ. ред. О.В. Миловзорова. – Рязань: Рязан. гос. радиотехн. ун-т, 2023.

ISBN 978-5-7722-0373-6

Т.1: – 216 с.,: ил.

ISBN 978-5-7722-0379-8

Сборник включает труды участников VI Международного научно-технического форума «Современные технологии в науке и образовании» СТНО-2023.

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 978-5-7722-0373-6

ISBN 978-5-7722-0379-8

© Рязанский государственный
радиотехнический университет, 2023

ИНФОРМАЦИЯ О VI МЕЖДУНАРОДНОМ ФОРУМЕ «СОВРЕМЕННЫЕ ТЕХНОЛОГИИ В НАУКЕ И ОБРАЗОВАНИИ» СТНО-2023

VI Международный научно-технический форум «Современные технологии в науке и образовании» СТНО-2023 состоялся 01.03.2023-03.03.2023 в г. Рязань в Рязанском государственном радиотехническом университете имени В.Ф. Уткина.

В рамках форума «Современные технологии в науке и образовании» СТНО-2023 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 нанoeлектроника;
- 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;
- 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;

Трубицына С.Г., вед. инженер – секретарь оргкомитета;

Благодарова И.А., ведущий программист – секретарь оргкомитета;

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.;

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

Дмитриев В.Т., зав. кафедрой радиоуправления и связи, 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.;

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

Ключко 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.;

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

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

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

Ленков М.В., зав. кафедрой автоматизации информационных и технологических процессов, к.т.н., доц.

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

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

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

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

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

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.;

Рохлина Т.А., доцент кафедры иностранных языков, к.филол.н., доц.;

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., декан ф-та автоматике и информационных технологий в управлении, зав. кафедрой автоматизированных систем управления, к.т.н., доц.;

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.

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

СЕКЦИЯ «ГЕОИНФОРМАЦИОННЫЕ И КОСМИЧЕСКИЕ ТЕХНОЛОГИИ»

УДК 004.054; ГРНТИ 20.15.05

ПРИМЕНЕНИЕ МЕТОДОВ АППРОКСИМАЦИИ ДЛЯ УТОЧНЕНИЯ ОЦЕНКИ НА РАЗРАБОТКУ ПРОГРАММНОГО ОБЕСПЕЧЕНИЯ

Н.В. Куликов

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

Аннотация. В работе рассматривается применение методов аппроксимации исторических данных по разработанным проектам для оценки затрат на будущие проекты при помощи методики СОСОМО II. Помимо теоретических основ, в работе приведены экспериментальные данные анализа ряда проектов.

Ключевые слова: оценка трудоемкости, программное обеспечение (ПО), аппроксимация, метод наименьших квадратов, СОСОМО.

APPLICATION OF APPROXIMATION METHODS TO REFINE ESTIMATES FOR SOFTWARE DEVELOPMENT

N.V. Kulikov

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

The summary. The paper considers the application of historical data approximation methods for developed projects to estimate the costs of future projects using the COCOMO II methodology. In addition to the theoretical foundations, the paper presents experimental data for the analysis of a number of projects.

Keywords: labor intensity estimation, software, approximation, least squares method, COCOMO.

Помимо рассмотренной ранее проблемы, касающейся малого объема оцениваемых критериев проекта [1], также одной из проблем оценки трудоемкости разработки ПО по методике СОСОМО II является неточность оценки для небольших проектов. Скорее всего, это связано с тем, что методика разрабатывалась и уточнялась на достаточно крупных проектах. Эту гипотезу подтверждает тот факт, что единица измерения размера программы не просто строки кода (LOC), а тысячи строк (KLOC).

Однако зачастую оцениваемые проекты бывают не такие огромные и их размер не превышает даже одной тысячи строк кода.

Проблему с неточностью измерения проектов малого размера можно частично решить путем аппроксимации исторических данных. Следует подчеркнуть, что именно частично, поскольку для полного решения проблемы необходим пересмотр основ методики СОСОМО II, а это и математические формулы, и коэффициенты.

Если имеется ряд проектов, для которых известны как и оценка СОСОМО II, так и реальное значение временных затрат, то можно произвести аппроксимацию значений и при помощи метода наименьших квадратов получить коэффициенты полинома для уточнения оценки. На этом предположении и основывается алгоритм уточнения. Однако такой подход применим только в случае оценки проектов одного разработчика или одной и той же команды разработчиков. Это логично, поскольку исторические данные одного разработчика, скорее всего, совершенно неприменимы для другого.

В данной работе приведены теоретические формулы, при помощи которых алгоритм получает уточненное значение оценки, а также описание алгоритма в целом. Помимо этого, статья содержит экспериментальные данные, по результатам которых определяется целесообразность описанного подхода.

Описание алгоритма уточнения оценки

Предлагаемый алгоритм относится к алгоритмам аппроксимации, используемым для поиска приближенного решения оптимизационной задачи [2]. Для реализации данного алгоритма используется аппроксимация исторических данных с помощью полинома второго порядка. Последовательность работы алгоритма представлена на рисунке 1.



Рис. 1. Блок-схема алгоритма уточнения оценки

На первом этапе алгоритма производится сбор и накопление исторических данных. При этом, по мере накопления этих данных, алгоритм будет постепенно улучшаться и уточняться, поскольку в дальнейшем алгоритм использует набор исторических данных по завершенным проектам для уточнения коэффициентов расчета новой оценки.

Следующим этапом вычисляются и уточняются коэффициенты полинома. Коэффициенты вычисляются при помощи метода наименьших квадратов. Суть данного метода заключается в минимизации разности между реальным значением оценки времени разработки проекта и расчетом полиномиальной функции:

$$\sum_{i=1}^n (y_i - f(x_i))^2 \Rightarrow \min . \quad (1)$$

За "x" принимается оценка, рассчитанная по формуле (2.4), а за "y" реальное время, за которое был разработан проект [3].

Таким образом, имеется ряд экспериментальных значений x и y. Тогда в общем случае, задача заключается в том, чтобы аппроксимировать взаимосвязь между этими значениями x и y.

В таком случае, согласно формуле расчета полиномиальной регрессии, [4] матричная система уравнений для определения коэффициентов искомого полинома будет выглядеть следующим образом:

$$\begin{pmatrix} n & \sum_{i=1}^n x_i & \sum_{i=1}^n x_i^2 \\ \sum_{i=1}^n x_i & \sum_{i=1}^n x_i^2 & \sum_{i=1}^n x_i^3 \\ \sum_{i=1}^n x_i^2 & \sum_{i=1}^n x_i^3 & \sum_{i=1}^n x_i^4 \end{pmatrix} \cdot \begin{pmatrix} a \\ b \\ c \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} \sum_{i=1}^n y_i \\ \sum_{i=1}^n x_i \cdot y_i \\ \sum_{i=1}^n x_i^2 \cdot y_i \end{pmatrix}, \quad (2)$$

где n – размер набора экспериментальных данных;

a, b, c – искомые коэффициенты полинома второго порядка.

Стоит отметить, что формула 1 используется именно для полинома второго порядка. Общая формула для любых полиномов представлена в [4].

Заключительным этапом производится вычисление окончательной оценки временных затрат. После определения коэффициентов a, b и c , окончательная оценка времени на разработку проекта определяется следующим образом:

$$TDEV_N = a + b \cdot TDEV + c \cdot (TDEV)^2. \quad (3)$$

Таким образом, данный алгоритм позволяет учитывать исторические данные для оценки новых проектов. Данная поправка, как правило, учитывает индивидуальные способности того или иного разработчика (или группы разработчиков).

В основе такого подхода лежит следующая гипотеза: конкретный специалист каждый свой проект разрабатывают примерно одинаково – один и тот же стиль программирования, подход к анализу и разработке, степень ответственности, ресурс и т.д. Поэтому можно сделать предположение, что все особенности подходов, самих разработчиков, условия рынка и прочие факторы, влияющие на разработку ПО, можно «усреднить» и принять примерно одинаковым для каждого конкретного разработчика.

Однако данный подход не применим для команды, поскольку состав команды может меняться даже в рамках одной организации и отдела. Данный подход применим для отдельных блоков и кусков программ, разрабатываемых конкретным разработчиком. В таком случае, можно оценить время разработки всего проекта как максимальную оценку самого медлительного разработчика из команды.

На оценку также может влиять и уровень опыта разработчика. Причем как опыт разработчика в целом, так и его опыт конкретно в рассматриваемой области, опыт взаимодействия с данной средой разработки или языком программирования. Однако опыт является достаточно субъективным критерием – кому-то хватает пары лет работы в области, а кому-то всего полгода. Одни разработчики достаточно быстро осваивают новые технологии, другим необходимо время, чтобы освоить их.

Можно было бы ввести отдельный критерий для учета опыта разработчика (подобные критерии встречаются в модели СОСОМО II, только на продвинутом уровне (Intermediate)), однако в таком случае не совсем ясно как определить степень опытности разработчика — если человек два года работает в своей области, то можно ли его считать опытным или еще нет? Тот же самый вопрос с десятью или пятью годами работы в определенной области или с конкретным языком или средством программирования.

Помимо этого, возникает ряд вопросов, связанных с взрослением и старением разработчиков, поскольку скорость усваивания новых технологий, инструментов и приёмов уменьшаются с возрастом, но при этом опыт неуклонно увеличивается.

Следовательно, по причинам, названным выше, учёт опыта разработчика производится в данном алгоритме не производится. К тому же коэффициенты полинома корректируется с каждым новым завершённым проектом. Рост навыков и опыта разработчика также будут влиять на оценку, корректируя ее со временем.

Сравнительный анализ с существующей методикой

Сравнение классической и уточненной методик будет производиться на основе уже завершенных проектов. В таблице 1 указаны реальные часы разработки проектов, оценки с помощью классического и усовершенствованного алгоритма. Помимо этого, в отдельной колонке указан язык, на котором велась разработка проекта.

Таблица 1. Оценки критериев проектов согласно

Проект	Язык/IDE	Реальное время, ч	Оценка 1, ч	Погрешность 1, %	Оценка 2, ч	Погрешность 2, %
Проект 1	Zelio Soft	30	557,14	-1757,13	65,67	-118,9
Проект 2	RSLogix 5000	582	3111,16	-434,56	585,61	-0,62
Проект 3	ISPSoft	150	1340,44	-793,62	147,69	1,54
Проект 4	Python	88	395,63	-349,58	60,04	31,77
Проект 5	ISPSoft	102	1010	-890,2	111,02	-8,84
Проект 6	ISPSoft	52	512,48	-885,54	58,39	-12,29
Проект 7	Codesys 2.3	102	1323,47	-1197,52	144,22	-41,39
Проект 8	Codesys 2.3	57	1083,79	-1801,38	111,61	-95,81
Проект 9	Codesys 3.5	132	1366,64	-935,33	145,12	-9,94
Проект 10	DOP Soft	31	293,51	-846,81	46,39	-49,65
Проект 11	C++	37	935,19	-2427,54	108,38	-192,92
Проект 12	C#	30	903,06	-2910,21	104,84	-249,47
Проект 13	Owen Logic	29	783,94	-2603,25	71,85	-147,76
Проект 14	Unity PRO	26	569,51	-2090,41	67,35	-159,04
Проект 15	СПК 3xx Конфигуратор	10	462,99	-4529,94	57,38	-473,8

Как видно из таблицы 1, погрешность оценки с помощью СОСОМО II для небольших проектов может достигать огромных значений. Связано это с тем, что методика СОСОМО II ориентирована больше на крупные проекты. При попытке с ее помощью оценить небольшие проекты погрешность становится большой.

По сравнению с уточненной методикой (табл. 1) погрешность у классической методики на порядок выше. Среднее значение погрешности на рассматриваемом наборе проектов для классической методики составляет -1630,2%, в то время как среднее значение погрешности у уточненной методики составляет -101,81%.

Помимо этого, время разработки не зависит напрямую от размера в строках кода — факторов очень много и учесть их все невозможно. Поэтому разработанный алгоритм уточнения — это попытка формально учесть все критерии в рамках одной организации, одних условий и одних и тех же особенностей команды или разработчика.

Заключение

Таким образом, несмотря на небольшую степень формальности подхода, экспериментальные данные показали, что данный алгоритм может быть применен для уточнения оценки программного проекта. Среднее значение погрешности после уточнения стала на несколько порядков выше, нежели в случае классической методики СОСОМО II.

Более того, данный подход не является слишком затратным по исполнению, поэтому его достаточно просто применить в тех организациях, в которых уже используется оценка

SOCOMO II, возможно даже для тех случаев, когда организация имеет дело с крупными проектами.

Библиографический список

1. Куликов, Н. В. Анализ основных классификаций программного обеспечения для дополнения модели SOCOMO / Н. В. Куликов // Современные технологии в науке и образовании - СТНО-2022 : Сборник трудов V Международного научно-технического форума. В 10-ти томах, Рязань, 02–04 марта 2022 года / Под общей редакцией О.В. Миловзорова. – Рязань: Рязанский государственный радиотехнический университет, 2022. – С. 33–37.
2. Garey M.R., Graham R.L., Ullman J.D. Worst case analysis of memory allocation algorithms. In Proc. Of the 4th ACM Symp. On Theory of Computing. 143—152, 1972.
3. Линник Ю. В. Метод наименьших квадратов и основы математико-статистической теории обработки наблюдений. — 2-е изд. — М., 1962.
4. Коломиец Л.В., Поникарева Н.Ю. Метод наименьших квадратов: метод. указания. – Самара: Изд-во Самарского университета, 2017. – 32 с

УДК 621.396.6.001; ГРНТИ 47.14.17

АНАЛИЗ САПР РАДИОЭЛЕКТРОННЫХ СРЕДСТВ. ОСОБЕННОСТИ И КРИТЕРИИ ОЦЕНКИ

Е.П. Васильев, Д.Х. Нгуен

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

Аннотация. В работе рассматриваются пять основных систем автоматизированного проектирования для анализа радиоэлектронных средств: AWR Microwave Office, FEKO, High Frequency Structural Simulator HFSS, Sonnet и CST Studio. Приведены основные методы моделирования функциональных устройств, используемые в различных САПР. Отмечены преимущества и недостатки современных САПР.

Ключевые слова: САПР, функциональные устройства, анализ, электромагнитное моделирование, AWR Microwave Office. HFSS, FEKO, Sonnet Suites, CST Studio, метод моментов, метод конечных элементов.

ANALYSIS OF CAD RADIO ELECTRONIC DEVICES. FEATURES AND EVALUATION CRITERIA

E.P. Vasiliev, D.H. Nguyen

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

The summary. The paper considers five main computer-aided design systems for the analysis of radio electronic equipment: AWR Microwave Office, FEKO, High Frequency Structural Simulator HFSS, Sonnet and CST Studio. This paper presents the main methods for modeling microwave devices used in various CAD systems, as well as the advantages that are obtained when using these CAD systems.

Keywords: CAD, devices, analysis, electromagnetic modeling, AWR Microwave Office. HFSS, FEKO, Sonnet Suites, CST Studio, MoM, FEM.

В последние десятилетия системы автоматизированного проектирования электронного оборудования интенсивно развиваются, в том числе и в радиоэлектронике. Современное радиооборудование можно разделить на две части: аналоговые системы и системы цифровой обработки. Радиоэлектроника играет все более значимую роль в современном мире, где работает множество систем в микроволновом диапазоне, таких как мобильная связь, навигация, спутниковое телевидение, телекоммуникационные системы и др.

Для эффективного проектирования радиосистем, включая системы связи, необходимо использовать соответствующие программные комплексы автоматизированного проектирова-

ния. Современный этап развития микроэлектроники немислим без широкого внедрения САПР, которые позволяют повысить полноту и точность решения проектных задач с одновременным сокращением материальных и временных затрат. Особенно **актуальна проблема** создания нового поколения САПР систем связи, что обусловлено все возрастающим схемотехническим и конструктивно–технологическим усложнением многофункциональных устройств и соответственно их математических моделей на квазистатическом и электродинамическом уровне сложности. Поэтому **цель работы** – анализ современных САПР для различных систем связи.

Для успешного проектирования радиоэлектронных средств (РЭС) необходимо учитывать специфику частотного диапазона и проектного процесса для элементов, устройств и комплексов. К отличительным особенностям микроволновых САПР можно отнести неразрывность этапов функционального, конструктивного и технологического проектирования, многовариантность конструктивно-топологической реализации схемного решения, сложность математических моделей и их существенная зависимость от иерархического уровня описания объекта, класса устройств, конструктивно-технологической реализации и частотных поддиапазонов.

Методы анализа и программные продукты последнего поколения

САПР используются для создания и моделирования различных электронных устройств, в том числе и микроволновых. Для моделирования функциональных устройств в частотной области используются различные САПР, которые основаны на разных методах решения. Метод моментов (МоМ) используется для моделирования планарных структур, а методы конечных элементов (FEM) и конечного интегрирования (FIT) применяются для моделирования произвольных структур. Кроме того, существуют методы анализа во временной области, такие как метод линий передач (TLM) и метод конечных разностей во временной области (FDTD). Для перехода от временной области к частотной используется быстрое преобразование Фурье. В таблице 1 можно найти характеристики наиболее популярных программных продуктов, созданных компаниями, занимающимися разработкой САПР для РЭС [1].

Таблица 1. Обзор популярных САПР, используемых для анализа функциональных устройств РЭС

Программа	Компания	Метод анализа	Анализируемая область	Решение задач
HFSS ANSYS	ANSYS	FEM	Частотная	Трехмерное электродинамическое моделирование антенн и пассивных устройств произвольной геометрии
CST Studio	CST	FEM, FIT		
FEKO	EM Software & Systems-S.A.	FEM, МоМ		
Sonnet Suites	Sonnet Software	FEM, МоМ		
Microwave Office	AWR Corporation	МоМ		Моделирование активных и пассивных EM структур

HFSS – это мощное 3D-электромагнитное симуляционное программное обеспечение, разработанное компанией ANSYS. Оно используется для проектирования и анализа высокочастотных электронных компонентов и систем, таких как антенны, фильтры, соединители и интегральные схемы. HFSS использует метод FEM для решения уравнений Максвелла и прогнозирования поведения электромагнитных полей в сложных структурах. HFSS позволяет

моделировать широкий спектр электромагнитных явлений, таких как рассеяние, излучение и передача электромагнитных сигналов, и также учитывает свойства материалов и геометрические детали. HFSS имеет удобный интерфейс и предоставляет различные инструменты для создания и изменения моделей, настройки симуляций и анализа результатов. Программный комплекс также может работать с другими инструментами ANSYS и сторонним программным обеспечением для более полного анализа и проектирования [2].

CST Studio – это интегрированная среда проектирования и моделирования электромагнитных систем, разработанная компанией CST AG. Программное обеспечение использует метод FEM и FIT для решения уравнений Максвелла и моделирования электромагнитных полей. CST Studio имеет множество инструментов для создания и анализа моделей, включая инструменты для импорта геометрии, оптимизации дизайна и автоматизации процесса моделирования. CST Studio также может работать с другими инструментами и программным обеспечением для более полного анализа и проектирования [3].

FEKO – это программное обеспечение для решения задач в области электродинамики методом МКЭ, которое разрабатывается компанией Altair Engineering. FEKO позволяет моделировать и анализировать электромагнитные структуры, работающие в широком диапазоне частот, от низких до сверхвысоких. FEKO предоставляет широкий набор инструментов для моделирования и анализа электромагнитных полей, включая различные антенны, проводники, резонаторы, волноводы, микрополосковые структуры и многое другое. Программное обеспечение поддерживает как двухмерное, так и трехмерное моделирование и позволяет анализировать множество характеристик, включая S-параметры, импеданс, коэффициент отражения и передачи, распределение поля и другие. FEKO также обладает функциями оптимизации дизайна, что позволяет пользователям получить наилучшее решение для своих задач. На рынке для анализа и расчета антенн, FEKO считается мировым лидером [4].

Sonnet Suites – это семейство программного обеспечения для моделирования электромагнитных полей, разработанное компанией Sonnet Software Inc. Оно используется для проектирования и анализа микрополосковых, волноводных и других устройств высокочастотной электроники, работающих в широком диапазоне вплоть до миллиметровых волн.

Программное обеспечение Sonnet Suites включает в себя три основных инструмента. Sonnet Lite – бесплатная базовая версия программы, которая может использоваться для моделирования плоских электромагнитных структур. Sonnet Professional – более продвинутая версия, которая предоставляет полные возможности трехмерного электромагнитного моделирования, а также ряд функций для автоматизации и оптимизации проектирования. Sonnet High Frequency – специализированный инструмент для моделирования высокочастотных электромагнитных структур, которые используются в космических и авиационных системах [5].

Основные методы, используемые в Sonnet Suites для моделирования электромагнитных структур, включают MoM и FEM методы. Это позволяют программному обеспечению точно моделировать поведение электромагнитных структур в широком диапазоне частот. Одним из главных преимуществ использования Sonnet Suites является его способность предоставлять быстрые и точные результаты моделирования для сложных трехмерных структур. Кроме того, программное обеспечение предлагает ряд функций для автоматизации и оптимизации проектирования, которые могут помочь инженерам и дизайнерам достичь оптимальной производительности своих конструкций, минимизируя время и затраты на разработку [5].

MWO – это набор программ, разработанный компанией AWR Corporation, которая сейчас является частью National Instruments. MWO использует метод MoM, включает в себя ряд инструментов для проектирования микроволновых и радиочастотных (RF) схем, включая симуляцию схем, анализ электромагнитных (EM) полей и оптимизацию. MWO имеет удобный графический интерфейс, который позволяет пользователям проектировать, симулиро-

вать и оптимизировать широкий спектр микроволновых и RF-схем, включая усилители, фильтры, смесители, осцилляторы и многое другое. Программа включает в себя различные симуляционные движки (линейные, нелинейные и EM), позволяя проектировщикам выбрать наилучший метод симуляции для своих конкретных требований проектирования. MWO имеет ряд продвинутых функций, таких как возможности симуляции в частотной и временной области, передовые алгоритмы оптимизации и встроенные инструменты для извлечения параметров. Кроме того, программа поддерживает широкий спектр форматов импорта и экспорта файлов, что делает ее легко интегрируемой с другими инструментами проектирования [6].

Пример применения САПР для проектирования микрополосковой патч-антенны

Рассмотрим основные этапы компьютерного проектирования микрополосковой антенны (МПА). Алгоритм проектирования МПА реализуется по схеме (рисунок 1).

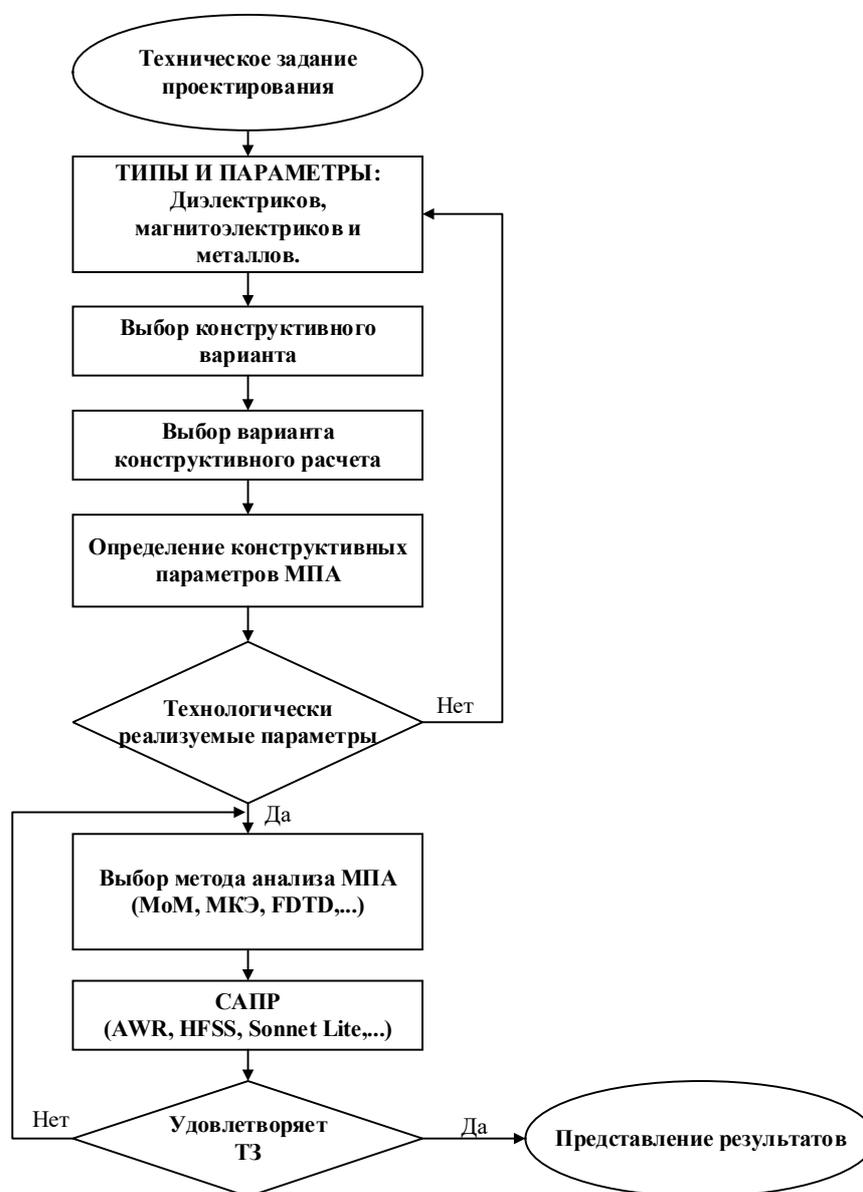


Рис. 1. Алгоритм компьютерного проектирования МПА

Техническое задание

Техническое задание на проектирования представляет из себя основные технические требования, предъявляемые к антенне.

Синтез

Синтез МПА реализуется в следующей последовательности:

- Выбор конструктивного варианта МПА на основе анализа требований технического задания.
- Выбор варианта конструктивного расчета МПА.
- С помощью программ компьютерной математики и САПР AWR определяются конструктивные параметры выбранного варианта МПА.

Перед выполнением анализом МПА на предмет соответствия требований технического задания осуществляется выбор метод моделирования (МКЭ, МоМ, FDTD и др.).

Тестирование

Далее осуществляется проверка на технологическую реализуемость конструктивных параметров. САПР позволяют с высокой точностью провести машинный эксперимент и получить матрицы S, T, Z, Y-параметров, все выходные характеристики, а также реализовать различные варианты визуализации полученной выходной информации.

Заключение

В заключении отметим – в работе приведен сравнительный анализ пяти современных САПР РЭС для систем связи, а также рассмотрен разработанный алгоритм компьютерного проектирования МПА.

Библиографический список

1. Банков С.Е., Курушин А.А. История САПР СВЧ (1950-2010). – Москва, 2016, 90 стр.
2. Сайт компании Ansoft – разработчика программы HFSS Ansoft [Электронный ресурс]. – Режим доступа: www.ansoft.com
3. Сайт компании-разработчика программы CST Studio [Электронный ресурс]. – Режим доступа: www.3ds.com
4. Сайт компании-разработчика программы FEKO [Электронный ресурс]. – Режим доступа: www.altair.com
5. Сайт компании-разработчика программы Sonnet Suites [Электронный ресурс]. – Режим доступа: www.sonnetsoftware.com
6. Сайт компании-разработчика программы AWR Microwave Office [Электронный ресурс]. – Режим доступа: www.cadence.com/en_US/home/tools/system-analysis/rf-microwave-design/awr-microwave-office.html

УДК 681.31; ГРНТИ 50.53

ОПТИМИЗАЦИЯ ПРОЦЕДУРЫ РАНЖИРОВАНИЯ РИСКОВ КАЧЕСТВА ПРОГРАММНОГО ПРОЕКТА ПО КРИТЕРИЮ ВАЖНОСТИ

А.И. Таганов

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

Аннотация. В работе рассматриваются формализованный подход к оптимизации процедуры ранжирования состава рисков программного проекта по критерию важности, основанный на положениях и свойствах теории нечетких множеств.

Ключевые слова: процедура ранжирования рисков программного проекта, связность рисков проекта, важность риска.

OPTIMIZATION OF RANKING PROCEDURE PROGRAM PROJECT QUALITY RISKS BY IMPORTANCE CRITERION

A.I. Taganov

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

Abstract. The paper considers a formalized approach to optimizing the procedure for ranking the composition of risks of a software project by importance criterion, based on the positions and properties of fuzzy set theory.

Keywords: program project risk ranking procedure, project risk relationship, risk importance.

Современные системы управления программными проектами (ПП) содержат в своем составе процесс управления рисками проекта, эффективность которого во многом зависит от применяемых методов и средств обработки рискованной информации в условиях нечеткости [1-5]. Одной из трудоемких и важных задач процесса управления рисками ПП считается многократно решаемая по ходу проекта задача ранжирования рисков проекта по их субъективной важности [4,8]. Конкретное содержание такой задачи заключается в согласовании мнений специалистов (менеджеров) по рискам по отношению к оценке возможной степени влияния последствий рискованных событий проекта на обобщенный критерий качества проекта [4, 5].

Отличительной особенностью предлагаемого подхода к построению и оптимизации процедуры обработки рискованной информации является учет взаимного влияния рисков по ходу проекта. Это позволяет более взвешенно и адекватно принимать решения специалистами проекта по рискам. Для формального описания методики ранжирования рисков проекта введем ряд понятий и определений [4,8].

Определение 1. Под связностью $\mathcal{G}(R_i, R_j)$ двух потенциальных рискованных событий (рисков) R_i и R_j понимается возможность появления в качестве последствий R_i другого риска R_j . При этом связность может быть однозначной и субъективной.

Определение 2. Связность $\mathcal{G}(R_i, R_j)$ называется субъективной, если возможность появления в качестве последствий R_i другого R_j может быть представлена нечетким числом $D = \langle \eta(R_i, R_j) / (R_i, R_j) \rangle$, где $\eta(R_i, R_j)$ – субъективная величина, характеризующая меру возможности появления в качестве последствий R_i другого R_j .

Определение 3. Связность $\mathcal{G}(R_i, R_j)$ называется однозначной, если $\mathcal{G}^n(R_i, R_j) = 1$.

На каждом этапе процесса управления рисками специальными методами идентифицируется текущее множество рисков и строится граф связности потенциальных рисков событий по отношению к характеристикам качества проекта [4]. Этот граф может быть представлен матрицей связности рисков: На основе такого представления рисков информации далее рассматривается задача, связанная с определением вектора степеней влияния последствий каждого риска на обобщенный критерий качества проекта с учетом однозначной и субъективной связности рисков.

Согласно введенному определению 3, при однозначной связности R_i и R_j в качестве последствий R_i в проекте обязательно возникает потенциальное рисковое событие R_j . С учетом этого «смягчение» в проекте R_i приводит к устранению R_j . Поэтому задача ранжирования рисков, т.е. определение совокупности наиболее значимых или «важных» рисков, будет заключаться в определении такой совокупности корневых вершин дерева рисков, устранение которых приведет к максимальному положительному эффекту по характеристикам качества и надежности ПП [4-10].

Определение 4. Важностью риска R_i будем называть положительное действительное число $V(R_i)$, учитывающее как степень влияния последствий самого R_i , так и степени влияния потомков этого риска на характеристики качества проекта.

Определение 5. Важность $V(R_i)$ рискового события R_i , которое порождает потенциальное рисковое событие R_j , определяется по формуле:

$$V(R_i) = \lambda(R_i) + \lambda(R_j), \quad (2)$$

где $\lambda(R_i)$ и $\lambda(R_j)$ степени влияния последствий рисков R_i и R_j соответственно.

Утверждение 1. Важность $V(R_i)$ рискового события R_i , последствиями которого являются только листья графа связности G^g , будет определяться алгебраической суммой степени влияния последствий $\lambda(R_i)$ и степеней влияния тех рисков событий, которые являются последствиями рискового события R_i :

$$V(R_i) = \lambda(R_i) + \sum_{j=1}^k \lambda(R_j^i), \quad (3)$$

где $R_j^i \mid j \in \overline{1, k}$ – все потенциальные рисковые события, являющиеся последствиями R_i .

Следствие 1. Аппроксимируя указанное утверждение на любую вершину графа связности G^g , получаем обобщенную формулу для вычисления важности произвольной вершины графа связности G^g :

$$V(R_i) = \lambda(R_i) + \sum_{j=1}^{k1} V(R_j), \quad (4)$$

где R_j - потенциальные рисковые события, являющиеся непосредственными последствиями события R_i

Следствие 2. Важность потенциального рискового события, являющегося листом графа связности G^g , будет определяться степенью влияния последствий на обобщенный критерий качества проекта:

$$V(R_i) = \lambda(R_i). \quad (5)$$

Таким образом, основываясь на введенном выше формализме, получим следующий алгоритм определения вектора важности потенциальных рисковых событий ПП на обобщенный критерий качества проекта:

Шаг 1. На основе определенного менеджерами проекта графа связности рисков строится матрица связности рисков $\mathcal{G}(R_i, R_j)$.

Шаг 2. Последовательно по уровням иерархии графа связности G^g от листьев к корням по формулам (3) – (5) определяется вектор важности потенциальных рисковых событий $V(R)$, являющийся в качестве исходных данными для решения следующей задачи, связанной с оптимизацией состава контролируемых рисков качества проекта.

При субъективной связности рисков ПП считаем, что появление одного риска приводит в общем случае к появлению одного или многих других рисков. При этом величина связности рисков задается менеджерами в интервале $\mathcal{G}^n \in [0,1]$ и определяет субъективную степень связности рисков.

Определение 6. Важность риска R_i , который порождает со степенью связности $\mathcal{G}^n(R_i, R_j)$ другое потенциальное рисковое событие R_j , определяется по формуле:

$$V^n(R_i) = \lambda(R_i) + \mathcal{G}^n(R_i, R_j) * \lambda(R_j). \quad (6)$$

Рассмотрим два крайних случая связности рисков: независимые и однозначно связанные риски. В первом случае согласно следствию 2 важность $V(R_i) = \lambda(R_i)$, с другой стороны важность $V(R_i)$ для риска R_i можно представить как $V(R_i) = \lambda(R_i) + 0 * \lambda(R_j)$. Во втором случае по определению 5 следует $V(R_i) = \lambda(R_i) + 1 * \lambda(R_j)$. Связность $\mathcal{G}^n(R_i, R_j)$ по определению 2 также характеризует меру возможности появления в качестве последствий R_i другого R_j и $0 \leq \mathcal{G}^n(R_i, R_j) \leq 1$. Следовательно, можно сделать вывод об обоснованности вычисления важности $V(R_i)$ для данного случая по формуле (6).

На основании определения 6 следует, что если в качестве последствий R_i присутствует множество других $\{R_{ik}\}$, то важность $V^n(R_i)$ вычисляется по формуле:

$$V^n(R_i) = \lambda(R_i) + \sum_{j=1}^k \mathcal{G}^n(R_i, R_{ij}) * \lambda(R_j). \quad (7)$$

Определение 7. Важность потенциального рискового события $R_j | j \in \overline{1, k}$, порождаемого R_i , вычисляется как:

$$V^n(R_j) = \mathcal{G}^n(R_i, R_j) * \lambda(R_j). \quad (8)$$

Согласно определению 5 важность R_i будет складываться из степени влияния

последствий $\lambda(R_i)$ и важности R_j : $V^n(R_i) = \lambda(R_i) + V^n(R_j)$. С другой стороны, по определению 6: $V^n(R_i) = \lambda(R_i) + \mathcal{G}^n(R_i, R_j) * \lambda(R_j) \Rightarrow V^n(R_j) = \mathcal{G}^n(R_i, R_j) * \lambda(R_j)$.

Следствие 3. Если в графе существует цепь субъективно связанных рисков, то важность R_j будет определяться выражением:

$$V^n(R_j) = \mathcal{G}(R_i, R_k) * \mathcal{G}(R_k, R_j) * \lambda(R_j). \quad (9)$$

Для доказательства следствия 3 рассмотрим, согласно определению 6, выражение:

$$V^n(R_i) = \lambda(R_i) + \mathcal{G}^n(R_i, R_k) * V^n(R_k) = \lambda(R_i) + \mathcal{G}^n(R_i, R_k) * \lambda(R_k) + \mathcal{G}^n(R_i, R_k) * \mathcal{G}^n(R_k, R_j) * \lambda(R_j).$$

С другой стороны, по определению 5 имеем:

$$V^n(R_i) = \lambda(R_i) + V^n(R_k) + V^n(R_j) \Rightarrow \text{важность } R_j;$$

$$V^n(R_j) = \mathcal{G}(R_i, R_k) * \mathcal{G}(R_k, R_j) * \lambda(R_j).$$

Утверждение 2. Важность риска R_i , являющегося порождением двух рисков событий R_k R_j , будет определяться как: $V^n(R_i) = (\mathcal{G}(R_j, R_i) + \mathcal{G}(R_k, R_i)) * \lambda(R_i)$.

Таким образом, задача ранжирования проектных рисков в условиях нечеткости данных может успешно решаться путем последовательного вычисления по формулам (3) – (7) важности влияния последствий рисков на обобщенный критерий качества ПП.

Анализ процесса управления рисками качества ПП на практике показал, что данную задачу можно декомпозировать на две последовательно решаемых задачи [2]. При решении первой задачи определяются коэффициенты связности рисков $\psi_{R_i}^n$ на основе процедуры рассмотрения графа связности G^g от вершин до листьев. При решении второй задачи определяется важность потенциальных рисков событий на при рассмотрении графа связности G^g от листьев дерева связности до корней соответствующих деревьев графа.

Таким образом, представленный и рассмотренный в работе подход к формализации и оптимизации процедуры ранжирования рисков качества ПП по критерию важности рисков позволяет на практике определять по стадиям жизненного цикла ПП в условиях нечеткости проектных данных необходимый для процесса управления рисками проекта актуальный список рисков [2-8].

Библиографический список

1. Фатрелл Р.Т., Шафер Д.Ф., Шафер Л.И. Управление программными проектами: достижение оптимального качества при минимальных затратах: пер. с англ. М.: Вильямс, 2003. 1136 с.
2. Руководство к своду знаний по управлению проектом (Руководство PMI). Институт управления проектами (PMI). Шестое издание, 2017. 726 с.
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.
4. Таганов А.И. Основы идентификации, анализа и мониторинга проектных рисков качества программных изделий в условиях нечеткости. Монография. М.: Горячая линия - Телеком. 2012. 224 с.
5. ГОСТ Р ИСО 31010:2011. «Менеджмент риска. Методы оценки риска». – Введ. 2011-12-01. М.: ФГУП «СТАНДАРТИНФОРМ», 2012. 69 с.
6. 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.

7. Борисов А.Н., Алексеев А.В. и др. Обработка нечеткой информации в системах принятия решений. М.: Радио и связь. 1989.

8. Таганов А.И., Таганов Р.А. Метод определения важности субъективно связанных рисков качества программных проектов // Вестник Рязанской государственной радиотехнической академии. 2002. № 10. С. 59-64.

9. Таганов А.И., Таганов Р.А. Метод определения оптимальной альтернативы реагирования на этапе мониторинга рисков проекта // Вестник Рязанской государственной радиотехнической академии. 2003. № 11. С. 115-118.

10. ГОСТ Р 56526-2015 «Требования надежности и безопасности космических систем, комплексов и автоматических космических аппаратов единичного (мелкосерийного) изготовления с длительными сроками активного существования». М.: Стандартиформ, 2015.

УДК 681.31; ГРНТИ 50.53

АЛГОРИТМИЧЕСКОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ ПРОЦЕДУРЫ ОЦЕНКИ ИНТЕГРАЛЬНОГО РИСКА КАЧЕСТВА ПРОЕКТА ПРОГРАММНЫХ СРЕДСТВ В УСЛОВИЯХ НЕЧЕТКОСТИ

А.И. Таганов, А.А. Кокунов

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

Аннотация. В работе рассматриваются вопросы применения современных алгоритмических моделей и методов для формализации процедуры оценки интегрального риска качества и надежности проекта программных средств в условиях нечеткости проектных данных

Ключевые слова: процедура оценки рисков и надежности проекта, алгоритмическое обеспечение, модель проектного процесса, нечеткий граф.

ALGORITHMIC SUPPORT OF THE PROCEDURE INTEGRAL QUALITY RISK ASSESSMENTS SOFTWARE PROJECT IN FUZZY CONDITIONS

A.I. Taganov, A.A. Kokunov

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

Abstract. The work considers the use of modern algorithmic models and methods for formalizing the procedure for assessing the integral risk of the quality and reliability of the software design in conditions of fuzzy design data

Keywords: project risk and reliability assessment procedure, algorithmic support, design process model, fuzzy graph.

Введение

На практике для решения задачи оценки интегрального риска и надежности заданных процессов программного проекта необходимо предварительное построение соответствующих математических моделей процессных рисков, адекватно отражающих как структуру элементов рассматриваемых процессов, так и их взаимосвязи с соответствующими параметрами. Для этих целей моделирования и оптимизации рисков предлагается использовать нечеткие вероятностные графы, которые широко используются во многих задачах нечеткой оценки интегрального риска и надежности алгоритмических процессов [1-8].

Анализ моделей рисков процессов программного проекта показал [1-5, 12-15], что для построения формальных алгоритмов преобразования нечетких графовых моделей процессных рисков проекта, целесообразным является остановиться на представлении нечеткого графа рисков проекта виде так называемой ленточной (L -) матрицы [4,5, 9-11].

Определение. L -матрицей называется матрица размером $4 \times N$, для которой каждая i -я строка отождествляется с дугой графа и имеет следующий вид:

$$l_i = \{x_i, y_i, \tilde{p}_i, \tilde{t}_i\},$$

где x_i – номер вершины, из которой выходит i -я дуга;

y_i – номер вершины, в которую входит i -я дуга;

$\tilde{p}_i(\tilde{t}_i)$ – нечеткая вероятность (время) перехода из вершины x_i , вершину y_i ;

N – количество дуг вероятностного графа ($i = \overline{1, N}$).

Основная идея, лежащая в основе рассматриваемых алгоритмов эквивалентного преобразования процессных моделей рисков и надежности процессов проекта, заключается в укрупнении нечеткого графа с целью получения итоговой модели риска и надежности процесса, отражающей итоговое значение параметра интегрального риска и надежности процесса. Такие преобразования состоят в последовательном применении правил объединения параллельных дуг графа, удаления дуги-петли и удаления вершины без петли. При этом правила распознавания укрупняемых фрагментов графа с нечеткими весами дуг, являются обобщением аналогичных правил для обычного вероятностного графа. Эти правила преобразования, в ходе укрупнения нечеткого вероятностного графа, рассматриваются здесь для представления нечеткого графа в форме ленточной (L -) матрицы [4,5,13].

Алгоритмы преобразования моделей процессных рисков и надежности проекта

Алгоритм 1: «Удаление вершин без петель в нечеткой модели процессных рисков»

Обозначим удаляемую вершину через j . Тогда дугам, входящим в эту вершину соответствуют строки L -матрицы, второй элемент которых равен j . Обозначим эти строки через a_1, a_2, \dots, a_m , где m – количество дуг, входящих в вершину j . Дугам, выходящим из вершины j соответствуют строки L -матрицы, первый элемент которых равен j .

Обозначим эти строки через b_1, b_2, \dots, b_d , где d – количество дуг, выходящих из вершины j .

Тогда учитывая правила и формулы [4,5], можно представить следующий алгоритм удаления вершины без петли.

Шаги алгоритма: «Удаление вершины без петли»

Шаг 1. Выделить множество $A = \{a_1, a_2, \dots, a_m\}$ дуг, входящих в вершину j , где $a_r = \{x_r, y_r, \tilde{p}_r, \tilde{t}_r\}$ – строка L -матрицы, $y_r = j$; $r = \overline{1, m}$.

Шаг 2. Выделить множество $B = \{b_1, b_2, \dots, b_d\}$ дуг, выходящих из вершины j , где $b_z = \{x_z, y_z, \tilde{p}_z, \tilde{t}_z\}$ – строка L -матрицы, $x_z = j$; $z = \overline{1, d}$.

Шаг 3. Вычеркнуть из L -матрицы строки, входящие в множество A или B .

Шаг 4. Образовать множество $C = A \times B$, каждый элемент которого представляет собой строку L -матрицы:

$$c_{rz} = \{x_{rz}, y_{rz}, \tilde{p}_{rz}, \tilde{t}_{rz}\},$$

где $x_{rz} = x_r$; $y_{rz} = y_r$;

$\tilde{p}_{rz} = \tilde{p}_r \cdot \tilde{p}_z$ – определяется по формуле:

$$\tilde{p}_{ij} = \bigcup_{\alpha \in [0,1]} (\underline{p}_{ij\alpha}, \overline{p}_{ij\alpha});$$

$\tilde{t}_{rz} = \tilde{t}_r + \tilde{t}_z$ – определяется по формуле:

$$\tilde{t}_{ij} = \bigcup_{\alpha \in [0,1]} (\underline{t}_{ij\alpha}, \bar{t}_{ij\alpha}),$$

$$\text{где } \bar{p}_{ij\alpha} = \bar{p}_{ik\alpha} + \bar{p}_{kj\alpha}; \quad \underline{p}_{ij\alpha} = \underline{p}_{ik\alpha} + \underline{p}_{kj\alpha};$$

$$\bar{t}_{ij\alpha} = \bar{t}_{ik\alpha} + \bar{t}_{kj\alpha}; \quad \underline{t}_{ij\alpha} = \underline{t}_{ik\alpha} + \underline{t}_{kj\alpha}.$$

Шаг 5. Добавить в L -матрицу строки, входящие в множество S .

Алгоритм 2: «Объединение параллельных дуг в нечеткой модели процессных рисков»

Признаком параллельных дуг является наличие на L -матрице строк, у которых первые два элемента попарно равны.

Учитывая правила и формулы [4,5] можно представить следующий алгоритм для объединения параллельных дуг.

Шаги алгоритма: «Объединение параллельных дуг»

Шаг 1. Найти на L -матрице две строки

$$\{x_i, y_i, \tilde{p}_i, \tilde{t}_i\},$$

$$\{x_j, y_j, \tilde{p}_j, \tilde{t}_j\}$$

такие, что $x_i = x_j$ и $y_i = y_j$.

Шаг 2. Заменить две строки, найденные на шаге 1, одной эквивалентной строкой

$$\{x, y, \tilde{p}, \tilde{t}\},$$

где $x = x_i$; $y = y_i$;

$\tilde{p} = \tilde{p}_i + \tilde{p}_j$ – определяется по формуле:

$$\tilde{p}_{ij} = \bigcup_{\alpha \in [0,1]} (\underline{p}_{ij\alpha}, \bar{p}_{ij\alpha});$$

$\tilde{t} = \frac{\tilde{p}_i \tilde{t}_i + \tilde{p}_j \tilde{t}_j}{\tilde{p}_i + \tilde{p}_j}$ – определяется по формуле:

$$\tilde{t}_{ij} = \bigcup_{\alpha \in [0,1]} (\underline{t}_{ij\alpha}, \bar{t}_{ij\alpha}),$$

где $\underline{p}_{ij\alpha} = \underline{p}'_{ij\alpha} + \underline{p}''_{ij\alpha}$; $\bar{p}_{ij\alpha} = \min(1, \bar{p}'_{ij\alpha} + \bar{p}''_{ij\alpha})$;

$$\underline{t}_{ij\alpha} = \frac{p_1 \underline{t}'_{ij\alpha} + p_2 \underline{t}''_{ij\alpha}}{p_1 + p_2}; \quad \bar{t}_{ij\alpha} = \frac{p_3 \bar{t}'_{ij\alpha} + p_4 \bar{t}''_{ij\alpha}}{p_3 + p_4};$$

$$p_1 = \begin{cases} \underline{p}'_{ij\alpha}, & \underline{t}'_{ij\alpha} \geq \underline{t}''_{ij\alpha}; \\ \underline{p}''_{ij\alpha}, & \underline{t}'_{ij\alpha} < \underline{t}''_{ij\alpha} \end{cases}; \quad p_2 = \begin{cases} \underline{p}''_{ij\alpha}, & \underline{t}''_{ij\alpha} \geq \underline{t}'_{ij\alpha}; \\ \underline{p}'_{ij\alpha}, & \underline{t}''_{ij\alpha} < \underline{t}'_{ij\alpha} \end{cases};$$

$$p_3 = \begin{cases} \bar{p}'_{ij\alpha}, & \bar{t}'_{ij\alpha} \geq \bar{t}''_{ij\alpha}; \\ \bar{p}''_{ij\alpha}, & \bar{t}'_{ij\alpha} < \bar{t}''_{ij\alpha} \end{cases}; \quad p_4 = \begin{cases} \bar{p}''_{ij\alpha}, & \bar{t}''_{ij\alpha} \geq \bar{t}'_{ij\alpha}; \\ \bar{p}'_{ij\alpha}, & \bar{t}''_{ij\alpha} < \bar{t}'_{ij\alpha} \end{cases}.$$

Алгоритм 3: «Удаление дуги-петли в нечеткой модели процессных рисков»

Признаком дуги-петли при вершине j есть строка L -матрицы, у которой первый и второй элементы равны j . Дугам, выходящим из вершины j , соответствуют строки, у которых

первый элемент равен j .

Учитывая правила и формулы [4,5] можно представить следующий алгоритм удаления дуги-петли при вершине j .

Шаги алгоритма: «Удаление дуги-петли»

Шаг 1. Определить строку $s = \{x, y, \tilde{p}, \tilde{t}\}$, для которой $x=y=j$.

Шаг 2. Выделить множество $A = \{a_1, a_2, \dots, a_m\}$ дуг, выходящих из вершины j , где $a_r = \{x_r, y_r, \tilde{p}_r, \tilde{t}_r\}$ – строка L-матрицы, $x_r = j$; $r = \overline{1, m}$, причем $s \notin A$.

Шаг 3. Вычеркнуть из L-матрицы строку s и строки, входящие в множество A .

Шаг 4. Каждую строку a_r , найденную на шаге 2, заменить строкой

$$a_r = \{x'_r, y'_r, \tilde{p}'_r, \tilde{t}'_r\},$$

где $x'_r = x_r$; $y'_r = y_r$;

$\tilde{p}'_r = \frac{\tilde{p}_r}{1 - \tilde{p}}$ – определяется по формуле:

$$\tilde{p}_{ij} = \bigcup_{\alpha \in [0,1]} (\underline{p}_{ij\alpha}, \overline{p}_{ij\alpha});$$

$\tilde{t}'_r = t_r + \frac{\tilde{t} \cdot \tilde{p}_r}{1 - \tilde{p}}$ – определяется по формуле:

$$\tilde{t}_{ij} = \bigcup_{\alpha \in [0,1]} (\underline{t}_{ij\alpha}, \overline{t}_{ij\alpha}),$$

где $\underline{p}'_{ij\alpha} = \frac{\underline{p}_{ij\alpha}}{1 - \underline{p}_{ii\alpha}}$; $\overline{p}'_{ij\alpha} = \min(1, \frac{\overline{p}_{ij\alpha}}{1 - \overline{p}_{ii\alpha}})$;

$$\underline{t}'_{ij\alpha} = \underline{t}_{ij\alpha} + \frac{\underline{t}_{ij\alpha} \cdot \underline{p}_{ii\alpha}}{1 - \underline{p}_{ii\alpha}}; \overline{t}'_{ij\alpha} = \overline{t}_{ij\alpha} + \frac{\overline{t}_{ij\alpha} \cdot \overline{p}_{ii\alpha}}{1 - \overline{p}_{ii\alpha}}; r = \overline{1, m}.$$

Шаг 5. Добавить в L-матрицу строки, найденные на шаге 4.

Алгоритм укрупнения нечеткого вероятностного графа, использующий правила и алгоритмы 1, 2, 3, состоит в следующем.

Обобщенный алгоритм укрупнения нечеткого графа

Шаг 1. Построить граф $\tilde{G}(X, \Gamma)$ с нечеткими весами дуг.

Шаг 2. Если есть параллельные дуги, то объединить их по алгоритму 2.

Шаг 3. Если $\pi = \emptyset$, то взять промежуточную вершину из множества π иначе перейти к шагу 8.

Шаг 4. Если промежуточная вершина с петлей, то перейти к шагу 5, иначе, – к шагу 6.

Шаг 5. Удалить петлю по алгоритму 3.

Шаг 6. Удалить промежуточную вершину по алгоритму 1.

Шаг 7. Перейти к шагу 2.

Шаг 8. Записать результат в виде нечетких весов дуг укрупненного графа $\tilde{G}^*(X, \Gamma)$.

Таким образом, представленные в работе алгоритмическое обеспечение процедуры оценки интегрального риска качества и надежности процессов проекта программных средств в условиях нечеткости, основано на преобразования нечетких графовых моделей процессных рисков проекта и на использовании положений метода нечеткого анализа и надежности

алгоритмических процессов. По своей сути рассмотренный в работе подход является альтернативой известному методу моделирования надежности с помощью аппарата полумарковских процессов, в котором неопределенность исходных данных описывается произвольными законами распределений времени переходов между вершинами. При этом приведенные в литературе результаты исследований в указанной области показывают, что вычислительная трудоемкость алгоритмов укрупнения нечетких графовых моделей надежности и интегрального риска значительно ниже, чем в случае применения теории полумарковских процессов и решетчатых функций. Это обстоятельство определило выбор нечетких графов в качестве моделей для описания моделей процессных рисков и надежности проекта с последующим переходом к разработке программных процедур для нечеткой системы управления рисками качества программного проекта.

Библиографический список

1. ГОСТ Р ИСО 31010:2011. «Менеджмент риска. Методы оценки риска». Введ. 2011-12-01. М.: ФГУП «СТАНДАРТИНФОРМ», 2012. 69 с.
2. ГОСТ Р 56526-2015 «Требования надежности и безопасности космических систем, комплексов и автоматических космических аппаратов единичного (мелкосерийного) изготовления с длительными сроками активного существования». М.: Стандартинформ, 2015.
3. Руководство к своду знаний по управлению проектом (Руководство PMI). Институт управления проектами (PMI). Шестое издание, 2017. 726 с.
4. Таганов А.И., Гильман Д.В. Методологические основы анализа и аттестации уровней зрелости процессов программных проектов в условиях нечеткости. М.: Горячая линия-Телеком. 2014. 168 с.
5. Ротштейн А.П., Штовба С.Д. Нечеткая надежность алгоритмических процессов. Винница: Континент. 1997. 142 с.
6. Таганов А.И. Методы идентификации, анализа и сокращения проектных рисков качества программных изделий в условиях нечеткости // Информационные технологии. 2011. № 9. С. 22-27.
7. Таганов А.И. Основы идентификации, анализа и мониторинга проектных рисков качества программных изделий в условиях нечеткости. Монография. М.: Горячая линия-Телеком. 2012. 224 с.
8. Корячко В.П., Таганов А.И., Таганов Р.А. Программный метод управления рисками качества проекта информационной системы // Инженерный вестник: Информатика, радиофизика, управление. 2004. № 1(17). С. 168-169.
9. 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.
10. Таганов А.И., Таганов Р.А. Метод определения оптимальной альтернативы реагирования на этапе мониторинга рисков проекта // Вестник Рязанского государственного радиотехнического университета. 2003. № 11. С. 115-118.
11. Таганов А.И., Кокунов А.А., Цыцына М.И. Модели и методы оценки качества и надежности алгоритмических процессов информационных систем. В сборнике: Современные технологии в науке и образовании - СТНО-2022. Сборник трудов V международного научно-технического форума: в 10 т. Рязань, 2022. С. 49 – 55.
12. 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.
13. 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.
14. Липаев В.В. Анализ и сокращение рисков проектов сложных программных средств. М.: СИНТЕГ, 2005. 224 с.
15. Фатрелл Р.Т., Шафер Д.Ф., Шафер Л.И. Управление программными проектами: достижение оптимального качества при минимальных затратах: пер. с англ. М.: Вильямс, 2003. 1136 с.

УДК 681.31; ГРНТИ 50.53

МОДЕЛЬНОЕ ПРЕДСТАВЛЕНИЕ ТИПОВЫХ СТРУКТУР АЛГОРИТМИЧЕСКИХ ПРОЦЕССОВ ИНФОРМАЦИОННЫХ СИСТЕМ ДЛЯ ЗАДАЧ ОЦЕНКИ НАДЕЖНОСТИ И ОПТИМИЗАЦИИ

А.А. Кокунов, А.И. Таганов

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

Аннотация. В работе рассматриваются методологические вопросы анализа методов и моделей обеспечения качества и надежности алгоритмических процессов на этапе системного проектирования информационных систем.

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

MODEL REPRESENTATION OF TYPICAL STRUCTURES OF ALGORITHMIC PROCESSES OF INFORMATION SYSTEMS FOR PROBLEMS OF RELIABILITY ASSESSMENT AND OPTIMIZATION

A.A. Kokunov, A.I. Taganov

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

Annotation. The paper deals with methodological issues of analysis of methods and models for ensuring the quality and reliability of algorithmic processes at the stage of system design of information systems.

Key words: information system, algorithmic process, models of algorithmic processes, typical structure, algorithmic process operator.

Введение

В современных работах функционирование различных систем с дискретным поведением, таких как технологические процессы производства или процессы выполнения опытно-конструкторских и научно-исследовательских работ, рассматривается с помощью представления структуры системы и ее поведения в виде алгоритмического процесса (АП) [1-6]. В ряд принципов и задач для формализации и дальнейшего анализа надежности АП входят [1,2,4]:

- переход от алгоритмического к вероятностному описанию АП, в частности переход от описания оператора к его модели надежности;
- принцип представления наиболее часто встречающихся комбинаций операторов в виде типовых структур.

Для формирования моделей надежности типовых алгоритмических структур воспользуемся матрицами модели надежности основных операторов АП, которые были рассмотрены в работе [3].

Основные виды типовых алгоритмических структур

Типовыми алгоритмическими структурами называют часто встречающиеся комбинации операторов и логических условий, для которых получены математические модели, позволяющие заменить их единичными операторами с эквивалентными характеристиками надежности [4,6]. Выделяют следующие виды типовых алгоритмических структур:

- последовательная (композиция);
- ветвящаяся структура (τ -дизъюнкция);
- итеративная структура (τ -итерация).

Также часто при проектировании АП технологических процессов и человеко-машинных систем к данным алгоритмическим структурам добавляют следующие структуры:

- «работа-контроль-доработка»;
- «работа с выборочным контролем и доработкой»;
- «многократная работа».

Модели надежности основных алгоритмических структур

Введем следующие обозначения для построения математических моделей перечисленных выше алгоритмических структур:

- A_i – рабочий оператор i ;
- τ – оператор условия;
- ω – оператор контроля;
- P_{A_i} – матрица модели надежности оператора A_i ;
- K_{ω}^1 – матрица модели надежности оператора ω , при условии, что ошибка не обнаружена (включая ситуации пропуска ошибки);
- K_{ω}^0 – матрица модели надежности оператора ω , при условии, что ошибка обнаружена (включая ситуации ложного обнаружения ошибки);
- t_{A_i} – время выполнения оператора A_i .

Таким образом можем определить модели надежности для описанных выше алгоритмических структур:

1) последовательная (композиция). Граф-схема данной структуры изображена на рисунке 1.



Рис. 1. Граф-схема последовательной структуры

Обозначение данной структуры и её эквивалентные характеристики примут вид:

$$\begin{aligned}
 B &= A_1 A_2; \\
 P_B &= P_{A_1} \cdot P_{A_2}; \\
 t_B &= t_{A_1} + t_{A_2}.
 \end{aligned}$$

2) ветвящаяся структура (τ -дизъюнкция). Граф-схема данной структуры изображена на рисунке 2.

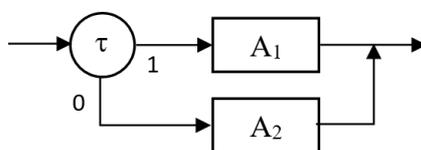


Рис. 2. Граф-схема ветвящейся структуры

Обозначение данной структуры и её эквивалентные характеристики примут вид:

$$\begin{aligned}
 C &= (A_1 \vee A_2); \\
 P_C &= P_{\tau} \cdot (K_{\tau}^1 \cdot P_{A_1} + K_{\tau}^0 \cdot P_{A_2}); \\
 t_C &= t_{\tau} + (1 - b) \cdot t_{A_1} + b_{\tau} \cdot t_{A_2};
 \end{aligned}$$

$$b_\tau = p_\tau^1 \cdot k_\tau^{10} + \sum_{j=1}^m p_\tau^{0j} \cdot k_\tau^{00j},$$

где b_τ – вероятность принятия условием τ решения «0».

3) итеративная структура (τ -итерация). Граф-схема данной структуры изображена на рисунке 3.

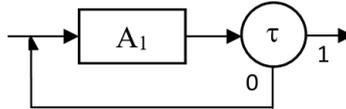


Рис. 3. Граф-схема итеративной структуры

Обозначение данной структуры и её эквивалентные характеристики примут вид:

$$D = \{A_1\}_\tau$$

$$P_D = P_A \cdot (I - K_\tau^0 \cdot P_{A_1})^{-1} \cdot K_\tau^1$$

$$t_D = \frac{t_\tau + t_{A_1}}{1 - b_\tau}$$

4) «работа-контроль-доработка». Граф-схема данной структуры изображена на рисунке 4.

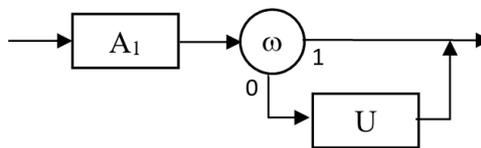


Рис. 4. Граф-схема структуры «работа-контроль-доработка»

Обозначение данной структуры и её эквивалентные характеристики примут вид:

$$F = A_1(E \vee U)_\omega$$

$$P_F = P_{A_1} \cdot K_\omega^1 + P_{A_1} \cdot K_\omega^0 \cdot P_U;$$

$$t_F = t_{A_1} + t_\omega + b_\omega \cdot t_U,$$

где b_ω – вероятность нахождения ошибки, в том числе ложной, контролем ω .

5) «работа с выборочным контролем и доработкой». Граф-схема данной структуры изображена на рисунке 5.

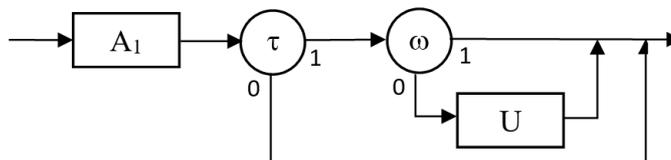


Рис. 5. Граф-схема структуры «работа с выборочным контролем и доработкой»

Обозначение данной структуры и её эквивалентные характеристики примут вид:

$$G = A_1 \left(E \underset{\tau}{\vee} (E \underset{\omega}{\vee} U) \right);$$

$$P_G = P_{A_1} \cdot (P_{\tau} \cdot (K_{\tau}^1 \cdot (K_{\omega}^1 + K_{\omega}^0 \cdot P_U) + K_{\tau}^0));$$

$$t_G = t_{A_1} + t_{\tau} + (1 - b_{\tau}) \cdot (t_{\omega} + b_{\omega} \cdot t_U).$$

б) «многократная работа». Граф-схема данной структуры изображена на рисунке 6.

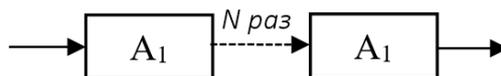


Рис. 6. Граф-схема структуры «многократная работа»

Обозначение данной структуры и её эквивалентные характеристики примут вид:

$$H = (A_1)^N;$$

$$P_H = (P_{A_1})^N;$$

$$t_G = N \cdot t_{A_1}.$$

Использование моделей надежности основных алгоритмических структур

Таким образом любой АП заданный в виде суперпозиции некоторого числа алгоритмических структур можно привести к оператору с эквивалентными показателями надежности используя перечисленные выше выражения. Примером автоматизированного перехода от алгоритма к его показателям надежности может служить циклический проход по каждой алгоритмической структуре АП с последующей заменой каждой таковой на соответствующий ей оператор, рассмотренный в данной работе.

Для наглядности, рассмотрим этап процесса производства некоторой цифровой вычислительной машины (ЦВМ). Этап состоит из ее сборки и прошивки под актуальное программное обеспечение (ПО) с последующим контролем и доработкой при необходимости. Граф-схема данного этапа производства изображена на рисунке 7.

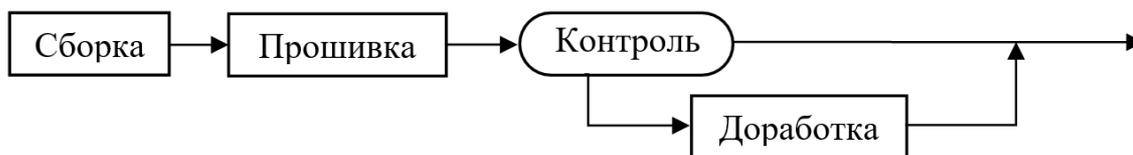


Рис. 7. Граф-схема этапа производства «сборка-прошивка-контроль-доработка»

Для упрощения примера и расчетов сведем все возможные возникающие ошибки к 2 типам: аппаратные (физические повреждения ЦВМ и/или ее элементов) и программные (ошибки при прошивке и ошибки в логике ПО).

Допустим вероятность безошибочного выполнения этапа сборки – 94%, вероятность внесения аппаратной ошибки – 6%, внесение программной ошибки на данном этапе невозможно. Для этапа прошивки вероятность безошибочного выполнения – 92%, вероятность внесения аппаратной ошибки – 1%, а программной ошибки – 7%. Тогда матрицы модели надежности и время выполнения данных операторов будут иметь вид:

$$P_{A_1} = \begin{pmatrix} 0,94 & 0,06 & 0 \\ 0 & 1 & 0 \\ 0 & 0 & 1 \end{pmatrix}; \quad P_{A_2} = \begin{pmatrix} 0,92 & 0,01 & 0,07 \\ 0 & 1 & 0 \\ 0 & 0 & 1 \end{pmatrix}.$$

$$t_{A_1} = 6 \quad t_{A_2} = 4$$

Оператор контроля будет иметь следующие показатели: вероятность ошибочного обнаружения ошибки – 2%, вероятность пропуска аппаратной ошибки – 3%, вероятность пропуска программной ошибки – 6%. Тогда характеристики данного оператора будут иметь вид:

$$K_{\omega}^1 = \begin{pmatrix} 0,98 & 0 & 0 \\ 0 & 0,03 & 0 \\ 0 & 0 & 0,06 \end{pmatrix}; \quad K_{\omega}^0 = \begin{pmatrix} 0,02 & 0 & 0 \\ 0 & 0,97 & 0 \\ 0 & 0 & 0,94 \end{pmatrix}.$$

$$t_{\omega} = 2$$

Доработка с вероятностью 85% исправит аппаратную ошибку и с вероятностью 90% – программную. Матрица и время выполнения для данного оператора будут иметь вид:

$$P_U = \begin{pmatrix} 1 & 0 & 0 \\ 0,85 & 0,15 & 0 \\ 0,9 & 0 & 0,1 \end{pmatrix}.$$

$$t_U = 10$$

Далее видим, что сборка (A_1) и прошивка (A_2) являются последовательной структурой. Тогда характеристики этой типовой структуры примут вид:

$$P_{A_{1+2}} = P_{A_1} \cdot P_{A_2} = \begin{pmatrix} 0,94 & 0,06 & 0 \\ 0 & 1 & 0 \\ 0 & 0 & 1 \end{pmatrix} \cdot \begin{pmatrix} 0,92 & 0,01 & 0,07 \\ 0 & 1 & 0 \\ 0 & 0 & 1 \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} 0,8648 & 0,0694 & 0,0658 \\ 0 & 1 & 0 \\ 0 & 0 & 1 \end{pmatrix}.$$

$$t_{A_{1+2}} = t_{A_1} + t_{A_2} = 6 + 4 = 10$$

После чего, получившаяся комбинация операторов «сборка+прошивка-контроль-доработка» будет являться типовой структурой «работа-контроль-доработка». И ее характеристики примут вид:

$$P_Z = P_{A_{1+2}} \cdot (K_{\omega}^1 + K_{\omega}^0 \cdot P_U) = \begin{pmatrix} 0,8648 & 0,0694 & 0,0658 \\ 0 & 1 & 0 \\ 0 & 0 & 1 \end{pmatrix} \cdot \left[\begin{pmatrix} 0,98 & 0 & 0 \\ 0 & 0,03 & 0 \\ 0 & 0 & 0,06 \end{pmatrix} + \right.$$

$$\left. + \begin{pmatrix} 0,02 & 0 & 0 \\ 0 & 0,97 & 0 \\ 0 & 0 & 0,94 \end{pmatrix} \cdot \begin{pmatrix} 1 & 0 & 0 \\ 0,85 & 0,15 & 0 \\ 0,9 & 0 & 0,1 \end{pmatrix} \right] = \begin{pmatrix} 0,978 & 0,012 & 0,01 \\ 0 & 1 & 0 \\ 0 & 0 & 1 \end{pmatrix};$$

$$t_Z = t_{A_{1+2}} + t_{\omega} + \left(p_{\omega}^1 \cdot k_{\omega}^{10} + \sum_{j=1}^m p_{\omega}^{0j} \cdot k_{\omega}^{00j} \right) \cdot t_U = 10 + 2 + (0,8648 \cdot 0,02 +$$

$$+ 0,0694 \cdot 0,97 + 0,0658 \cdot 0,94) \cdot 10 = 13,5.$$

В итоге, вероятность безошибочного выполнения этапа процесса производства (сборка-прошивка-контроль-доработка) будет равна 97,8%, а вероятности внесения аппаратных и программных ошибок – 1,2% и 1% соответственно. При этом среднее время выполнения данной конструкции составляет 13,5 условных единиц.

Следующими этапами рассмотрения проблемы оценки качества и надежности алгоритмических процессов информационных систем являются такие проблемные вопросы как: рассмотрение и выбор методов расстановки контролей в АП, исследование возможностей применения интеллектуальных методов для решения задач четкой и нечеткой оптимизации алгоритмических процессов информационных систем.

Библиографический список

1. Таганов А.И., Кокунов А.А., Цыцына М.И. Модели и методы оценки качества и надежности алгоритмических процессов информационных систем. В сборнике: Современные технологии в науке и образовании - СТНО-2022. Сборник трудов V международного научно-технического форума: в 10 т. Рязань, 2022. С. 49 – 55.
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 нечеткости. М.: Горячая линия – Телеком, 2013. - 168 с.
6. Ротштейн А. П., Штовба С. Д. Нечеткая надежность алгоритмических процессов. – Винница: Континент – ПРИМ, 1997.– 142 с.

УДК 681.31; ГРНТИ 50.53

АЛГОРИТМИЧЕСКОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ ПРОЦЕССА АНАЛИЗА РИСКОВ КАЧЕСТВА ПРОЕКТА ПРОГРАММНЫХ СРЕДСТВ В УСЛОВИЯХ НЕЧЕТКОСТИ

А.И. Таганов, М.И. Цыцына

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

Аннотация. В работе рассматриваются вопросы построения современных алгоритмических моделей и методов для формализации процесса анализа рисков проекта программных средств, рассматриваемого в условиях нечеткости проектных данных с учетом ориентации процесса анализа рисков на унифицированные показатели качества программного продукта.

Ключевые слова: программный проект, алгоритм анализа рисков, нечеткие множества, экспертные оценки.

ALGORITHMIC PROCESS SUPPORT PROJECT QUALITY RISK ANALYSIS SOFTWARE IN FUZZY CONDITIONS

A.I. Taganov, M.I. Tsytsyna

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

Abstract. The paper discusses the issues of constructing modern algorithmic models and methods for formalizing the risk analysis process of the software design, which is considered in conditions of fuzzy design data taking into account the orientation of the risk analysis process to unified indicators of the software product quality.

Keywords: program project, risk analysis algorithm, fuzzy sets, expert assessments.

Введение

Одним из направлений развития методов программной инженерии является разработка новых моделей и алгоритмов, обеспечивающих эффективную инструментальную поддержку процессов и задач, связанных с анализом и мониторингом рисков программного проекта (РПП) по характеристикам качества (ХК) [1-4]. В этой связи в работе рассматриваются подходы к решению задачи анализа РПП в условиях нечеткости, когда область определения этой задачи можно представить в виде кортежа [4, 6]: $\langle R, H, f_s, P_s, G, W(R), D \rangle$, где R – идентифицированное на этапе проекта множество рисков; H – структурная модель, отражающая (согласно техническому заданию) показатели (характеристики) качества ПП [4]; f_s – отображение множества рисков R на множество показателей качества H (фактически это экспертная оценка влияния рисков на характеристики качества ПП); P_s – модель, отражающая предпочтения эксперта по рискам; G – графовая модель, отражающая взаимосвязи проектных рисков качества; $W(R)$ – искомый вектор, отражающий значения степени влияния множества рисков R на **обобщенный** критерий качества ПП; D – набор алгоритмов (методов), позволяющих на очередном этапе проекта формировать вектор $W(R)$. При этом набор искомых алгоритмов D в процессе анализа рисков ПП должен покрываться процессом анализа самые разнообразные сочетания видов исходных данных, поступающих на вход процесса анализа рисков. На практике структурная модель характеристик качества H может отражать как независимые характеристики качества одного уровня иерархии, так и зависимые характеристики качества в виде многоуровневой иерархической модели [4]. Вид экспертной информации по проектным рискам P_s может быть задан как в количественном, так и в качественном виде. Также граф связности рисков G может отражать структуру взаимодействия рисков как в форме независимых рисков проекта, так и в форме однозначно связанных рисков или субъективно связанных рисков.

Подходы к построению алгоритмического обеспечения анализа РПП

С учетом выше указанных особенностей в постановке задачи анализа рисков условиях нечеткости на практике могут быть использованы следующие методы и алгоритмы анализа РПП [4-13]:

1. Алгоритм $D1$, который позволяет решать задачу анализа РПП (по стадиям жизненного цикла (ЖЦ) проекта определять $W(R)$) на основе следующих исходных данных проекта: модель H представлена множеством независимых (несвязных) характеристик качества; R – множество идентифицированных рисков проекта представлено множеством независимых проектных рисков; исходные количественные оценки по рискам проекта f и P_s оформлены экспертным способом.

2. Алгоритм $D2$ также предназначен для решения задачи анализа РПП, но отличающийся от $D1$ тем, что предпочтения экспертов по РПП заданы вербальным способом.

3. Алгоритм $D3$, расширяющий функциональные возможности выше указанных $D1$ и $D2$ для случаев, когда модель H в исходных данных проекта задана в виде дерева характеристик качества, как указано в нормативно-методических документах международного и государственного уровня [1-4,12].

4. Алгоритм $D4$ по функциональному назначению отличается от выше указанных алгоритмов тем, что исходные данные для анализа должны быть получены одним из алгоритмов $D1$, $D2$, $D3$ и при анализе рисков дополнительно учитывается свойство однозначной связности рисков [7].

5. Алгоритм $D5$, по функционалу отличается от алгоритма $D4$ лишь тем, что при определении искомого вектора $W(R)$ дополнительно учитывается субъективную связность рисков проекта [4].

Теоретической основой при построении указанного комплекса алгоритмов D явились положения теории нечетких множеств, которые впервые были сформулированы Л.Заде и послужили фундаментом при разработке и формализации соответствующих методов и алгоритмов для решения проблемной задачи анализа рисков ПП в условиях нечеткости [5,11].

На рисунке представлена блок-схема алгоритма $D1$.

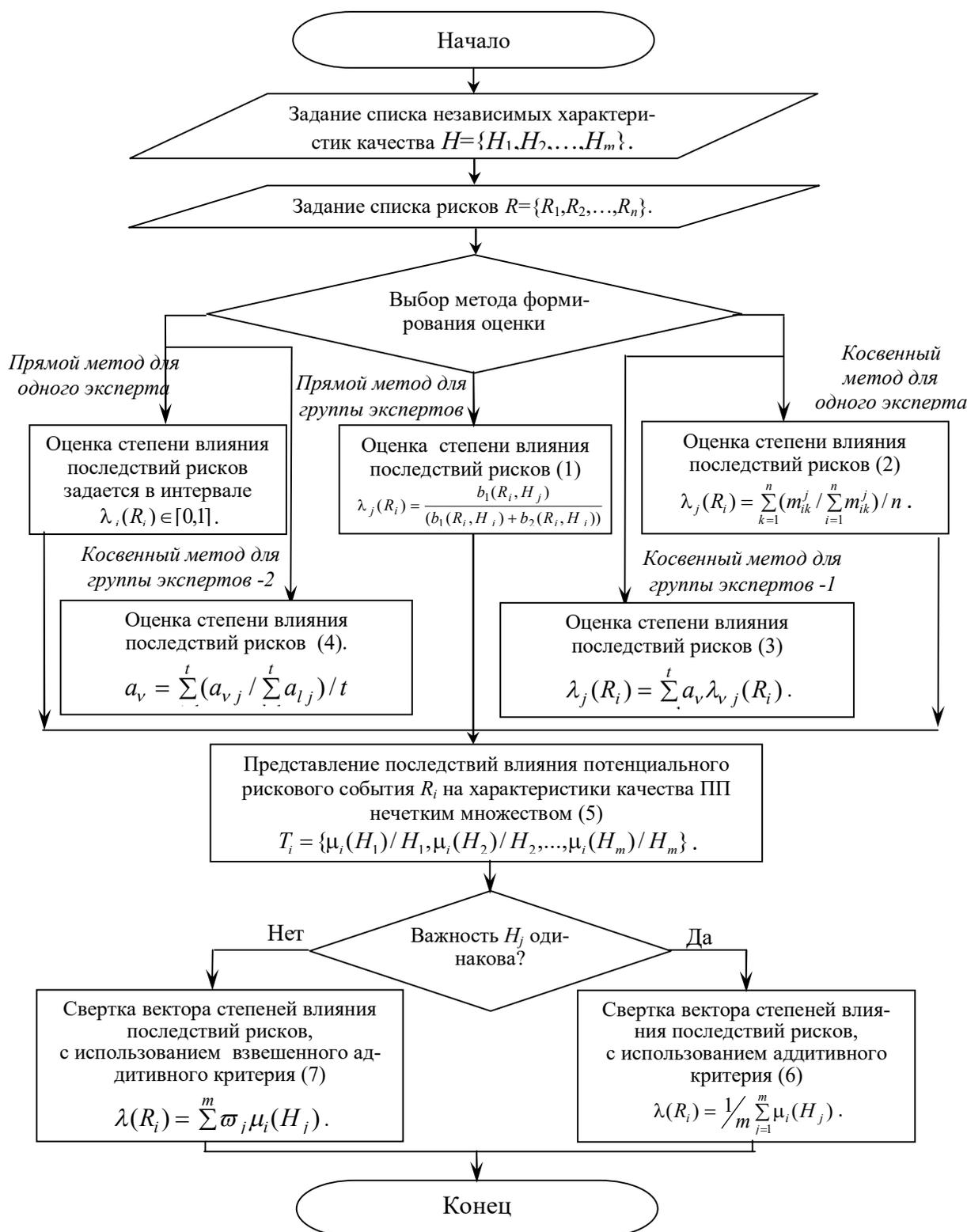


Рис. Блок-схема алгоритма $D1$

Задача анализа РПП в контексте построения алгоритма DI может быть сформулирована следующим образом.

Пусть в ТЗ заданы m аддитивных характеристик качества $H = \{H_1, H_2, \dots, H_m\}$, подлежащих исполнению в проекте. В процессе выполнения процедуры идентификации потенциальных РПП определен список из n рисков событий $R = \{R_1, R_2, \dots, R_n\}$. Далее специалисты по рискам экспертным путем для каждого идентифицированного риска задают согласованные оценки $\lambda_j(R_i)$, определяющие возможные степени влияния последствий R_i на характеристики качества H_j . Эти экспертные оценки могут формироваться прямыми и косвенными методами из результатов экспертного опроса [4,5,11,12].

Прямой подход к анализу рисков проекта

Самым очевидным является прямой подход к анализу рисков проекта с привлечением к анализу одного специалиста по рискам. В этом случае специалист оценивает степень влияния последствий R_i на характеристику качества H_j в интервале $[0,1]$ и получает значения $\lambda_j(R_i)$: $\lambda_j(R_i) \in [0,1]$. В случае привлечения группы из z специалистов по рискам, из которых часть $b_1(R_i, H_j)$ на вопрос о степени влияния последствий риска R_i на характеристику качества H_j ответила положительно, а другая часть специалистов $b_2(R_i, H_j) = z - b_1(R_i, H_j)$ ответила на этот вопрос отрицательно, тогда принимается:

$$\lambda_j(R_i) = b_1(R_i, H_j) / (b_1(R_i, H_j) + b_2(R_i, H_j)). \quad (1)$$

Косвенные методы могут использоваться на практике для снижения субъективного влияния на результаты определения оценки $\lambda_j(R_i)$. Косвенные методы могут быть реализованы посредством построения функции принадлежности на основе количественного попарного сравнения степеней принадлежности. В зависимости от особенностей задачи анализа РПП, количества специалистов по рискам, а также способа задания предпочтительности мнений экспертов следует указать несколько подходов к построению алгоритма формирования оценок $\lambda_j(R_i)$.

Косвенный подход к анализу рисков с одним специалистом по рискам

По результатам опроса специалиста по рискам формируется набор матриц $M_j = \|m_{ik}^j\|$, $i, k = \overline{1, n}$, где n - число потенциальных РПП; $j = \overline{1, d}$, где d - число аддитивных характеристик качества проекта. Элемент матрицы m_{ik}^j показывает насколько степень влияния потенциального рисков события R_i на характеристику качества H_j предпочтительней степени влияния последствий потенциального рисков события R_k . Вычисление значений $\lambda_j(R_i)$ в случае привлечения одного специалиста по рискам производится следующим образом:

$$\lambda_j(R_i) = \sum_{k=1}^n (m_{ik}^j / \sum_{l=1}^n m_{lk}^j) / n. \quad (2)$$

Косвенный подход к анализу рисков с группой специалистов по рискам

В случае привлечения группы специалистов по рискам необходимо с учетом коэффициента их значимости сформировать отдельно для каждого специалиста матрицу степеней влияния последствий РПП на характеристики качества проекта, а затем итоговое значение $\lambda_j(R_i)$ получить взвешенной аддитивной сверткой:

$$\lambda_j(R_i) = \sum_{v=1}^t a_v \lambda_{v,j}(R_i), \quad (3)$$

где t - число специалистов по рискам.

Более объективное решение при формировании оценок $\lambda_j(R_i)$ можно получить с группой специалистов по рискам, характеризующихся с помощью нечеткого отношения предпочтения между ними. Вектор предпочтения мнений каждого из специалистов по рискам можно получить по следующей формуле:

$$a_v = \sum_{j=1}^t (a_{v,j} / \sum_{l=1}^t a_{l,j}) / t, \quad (4)$$

где $a_{l,j}$ - характеризует насколько предпочтительнее мнение l -го специалиста по рискам относительно мнения j -го специалиста.

Далее по формуле (1.6) вычисляем искомое значение $\lambda_j(R_i)$.

Вычислив по формулам (3) - (7) отдельные оценки влияния последствий R_i на характеристики качества проекта, далее можно нечетким множеством представить всю совокупность этих оценок:

$$T_i = \{\mu_i(H_1) / H_1, \mu_i(H_2) / H_2, \dots, \mu_i(H_m) / H_m\}, \quad (5)$$

где $\mu_i(H_j) = \lambda_j(R_i)$.

Свертку вектора $\{\mu_i(H_1), \mu_i(H_2), \dots, \mu_i(H_m)\}$ осуществляем с использованием аддитивного критерия:

$$\lambda(R_i) = 1/m \sum_{j=1}^m \mu_i(H_j). \quad (6)$$

Для случая, когда заданные характеристики качества проекта H_j имеют различную степень важности, то общую задачу свертки вектора $\{\mu_i(H_1), \mu_i(H_2), \dots, \mu_i(H_m)\}$ решаем посредством использования взвешенного аддитивного критерия:

$$\lambda(R_i) = \sum_{j=1}^m \varpi_j \mu_i(H_j), \quad (7)$$

где ϖ_j - весовые коэффициенты характеристик качества проекта, удовлетворяющие следующим ограничениям: $\varpi_j \geq 0, \sum_{j=1}^m \varpi_j = 1$.

Решением сформулированной задачи (1) – (7) является вектор $W(R)$ степеней влияния последствий рисков на обобщенный критерий качества проекта такой, что $W(R_i)=\lambda(R_i)$.

Таким образом, рассмотренные в работе подходы к построению алгоритмического обеспечения процесса анализа РПП по характеристикам качества в условиях нечеткости проектных данных имеют достаточно простую реализацию, очевидную практическую направленность и основаны на использовании известных экспертных методов обработки оценок специалистов по рискам качества программного проекта в условиях нечеткости проектных данных.

Библиографический список

1. Липаев В.В. Анализ и сокращение рисков проектов сложных программных средств. М.: СИНТЕГ, 2005. 224 с.
2. Фатрелл Р.Т., Шафер Д.Ф., Шафер Л.И. Управление программными проектами: достижение оптимального качества при минимальных затратах: пер. с англ. М.: Вильямс, 2003. 1136 с.
3. Руководство к своду знаний по управлению проектом (Руководство PMI). Институт управления проектами (PMI). Шестое издание, 2017. 726 с.
4. Таганов А.И. Основы идентификации, анализа и мониторинга проектных рисков качества программных изделий в условиях нечеткости. Монография. М.: Горячая линия – Телеком, 2012. 224 с.
5. Заде Л.А. Понятие лингвистической переменной и его применение к принятию приближенных решений. - М.: Мир, 1976. 160 с.
6. 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.
7. Таганов А.И., Таганов Р.А. Метод определения важности субъективно связанных рисков качества программных проектов // Вестник Рязанской государственной радиотехнической академии. 2002. № 10. С. 59-64.
8. Таганов А.И., Таганов Р.А. Метод определения оптимальной альтернативы реагирования на этапе мониторинга рисков проекта // Вестник Рязанской государственной радиотехнической академии. 2003. № 11. С. 115-118.
9. Таганов А.И., Таганов Р.А. Методологические основы методов идентификации рисков событий проекта // Вестник Рязанской государственной радиотехнической академии. 2003. Вып. 12. С. 70 - 77.
10. Таганов А.И., Таганов Р.А. Разработка инструментальных средств поддержки процессов управления рисками качества программного проекта // Вестник Рязанской государственной радиотехнической академии. 2003. Выпуск 13. С. 52 - 57.
11. Борисов А.Н., Алексеев А.В. и др. Обработка нечеткой информации в системах принятия решений. М.: Радио и связь. 1989.
12. ГОСТ Р ИСО 31010:2011. «Менеджмент риска. Методы оценки риска». Введ. 2011-12-01. М.: ФГУП «СТАНДАРТИНФОРМ», 2012. 69 с.
13. ГОСТ Р 56526-2015 «Требования надежности и безопасности космических систем, комплексов и автоматических космических аппаратов единичного (мелкосерийного) изготовления с длительными сроками активного существования». М.: Стандартиформ, 2015.

УДК 681.31; ГРНТИ 50.53

РАЗРАБОТКА СРЕДСТВ АВТОМАТИЧЕСКОЙ КЛАССИФИКАЦИИ РИСКОВ КАЧЕСТВА ПРОГРАММНОГО ПРОЕКТА МЕТОДАМИ НЕЧЕТКОЙ КЛАСТЕРИЗАЦИИ

М.И. Цыцына, А.И. Таганов

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

Аннотация. В работе рассматриваются модели, методы и алгоритмы современного инструментария, используемого на практике для решения задачи автоматической классификации рисков программного проекта методами нечеткой кластеризации.

Ключевые слова: программный проект, классификация рисков, алгоритм кластеризации средних.

DEVELOPMENT OF TOOLS FOR AUTOMATIC CLASSIFICATION OF QUALITY RISKS OF A SOFTWARE PROJECT BY METHODS OF FUZZY CLUSTERING

M.I. Tsytsyna, A.I. Taganov

*Ryazan State Radiotechnical University named after V.F. Utkin,
Russian Federation, Ryazan, alxtag@yndex.ru*

Annotation. The paper considers models, methods and algorithms of modern tools used in practice to solve the problem of automatic risk classification of a software project using fuzzy clustering methods.

Keywords: software project, risk classification, c-means clustering algorithm.

Введение

Большой объем субъективной информации циркулирующей на этапах анализа рисков программного проекта обуславливает необходимость проведения исследований и разработок по созданию методов и средств эффективной обработки рискованной информации для специалистов принимающих решения по управлению рисками проекта [1-11]. Для решения этой трудно формализуемой задачи предлагается способ, основанный на использовании методов автоматической классификации и нечеткого кластерного анализа [5-7]. Разработанные в рамках данного направления методы и алгоритмы приобретают в последнее время новое содержание в связи с исследованиями по теории возможностей [5,6]. В основе данной теории лежит нечетко-возможностная интерпретация неопределенности, что в значительной степени согласуется с исходными установками методологии анализа данных по рискам проекта [1,11].

Постановка задачи

Формальная постановка задачи нечеткого кластерного анализа рисков программного проекта выглядит следующим образом. Пусть имеется определенное на этапе идентификации рисков конечное множество рисков $R = \{R_1, R_2, \dots, R_n\}$, которое будем называть множеством объектов кластеризации. Также пусть имеются конечное множество характеристик программных проектов $P = \{P_1, P_2, \dots, P_n\}$, на которые влияют потенциальные рисковые события и значения последствий влияния которых можно оценить.

Далее предполагаем, для каждого из объектов кластеризации (рисков проекта) некоторым образом измерены все признаки P в некоторой количественной шкале. Тем самым каждому из элементов $R_i \in R$ поставлен в соответствие некоторый вектор $x_i = (x_1^i, x_2^i, \dots, x_q^i)$, где x_j^i - количественное значение признака $p_j \in P$ для объекта данных $R_i \in R$. Для опреде-

ленности будем полагать, что все значения x_j^i принимают некоторые действительные значения. Для определения векторов $x_i = (x_1^i, x_2^i, \dots, x_q^i)$ применяется одна из следующих видов шкал измерений, описанных в [5]:

- шкала наименований;
- порядковая шкала;
- интервальная шкала;
- шкала отношений.

Векторы значений признаков $x_i = (x_1^i, x_2^i, \dots, x_q^i)$ представим в виде так называемой матрицы данных D размерностью $(n \times q)$, каждая строка которой равна значению вектора x_i .

Далее для уточнения вида целевой функции $f(\mathfrak{Z}(A))$ в рассмотрение вводятся некоторые дополнительные понятия. Прежде всего предполагается, что искомые нечеткие кластеры рисков представляют нечеткие множества A_k , образующие нечеткое покрытие исходного множества объектов кластеризации $A=R$ (рисков), для которого условие нечеткого покрытия принимает следующий вид:

$$\sum_{i=1}^c \mu_{A_k}(R_i) = 1 \quad (\forall R_i \in R), \quad (1)$$

где c – общее количество нечетких кластеров рисков $A_k (k \in \{2, \dots, c\})$, которое считается предварительно заданным.

На следующем шаге для каждого нечеткого кластера риска вводятся в рассмотрение так называемые *типичные представители* или *центры* v_k искомым нечетких кластеров рисков $A_k (k \in \{2, \dots, c\})$, которые рассчитываются для каждого из нечетких кластеров и по каждому из признаков по следующей формуле:

$$v_j^k = \frac{\sum_{i=1}^n (\mu_{A_k}(R_i))^m * x_j^i}{\sum_{i=1}^n (\mu_{A_k}(R_i))^m} \quad (\forall k \in \{2, \dots, c\}, \forall p_j \in P), \quad (2)$$

где m – некоторый параметр, называемый экспоненциальным весом и равным некоторому действительному числу ($m > 1$).

Каждый из центров кластеров представляет собой вектор $v_k = \{v_1^k, v_2^k, \dots, v_q^k\}$ в некотором q -мерном нормированном пространстве, изоморфном R_q , т.е. $v_j^k \in R_q$, если признаки измерены в шкале отношений.

Наконец в качестве целевой функции будем рассматривать сумму квадратов взвешенных отклонений координат объектов кластеризации от центров искомым нечетких кластеров рисков:

$$f(A_k, v_j^k) = \sum_{i=1}^n \sum_{k=1}^c (\mu_{A_k}(R_i))^m \sum_{j=1}^q (x_j^i - v_j^k)^2, \quad (3)$$

где m – экспоненциальный вес нечеткой кластеризации рисков, значение которого задается в зависимости от количества элементов (мощности) множества рисков R . Чем больше рисков содержит множество R , тем меньше значение выбирается для m .

Задача нечеткой кластеризации рисков может быть сформулирована следующим образом: для заданных параметров матрицы данных D количества нечетких кластеров рисков c ($c \in \mathbb{N}$ и $c > 1$), параметра t определить матрицу U значений функций принадлежности рисков $R_i \in R$ нечетким кластерам рисков A_k ($k \in \{2, \dots, c\}$), которые доставляют минимум целевой функции (3) и удовлетворяют ограничениям (1), (2), а также дополнительным ограничениям (4) и (5):

$$\sum_{i=1}^n \mu_{A_k}(a_i) > 0 \quad (\forall k \in \{2, \dots, c\}); \quad (4)$$

$$\mu_{A_k}(a_i) > 0 \quad (\forall k \in \{2, \dots, c\}, \forall a_i \in A) \quad . \quad (5)$$

Условие (4) исключает появление пустых нечетких кластеров рисков в искомой нечеткой кластеризации. Последнее условие (5) имеет чисто формальный характер, поскольку непосредственно следует из определения функции принадлежности нечетких множеств. В этом случае минимизация целевой функции (3) минимизирует отклонение всех объектов кластеризации от центра нечетких кластеров пропорционально значениям функции принадлежности этих объектов соответствующим нечетким кластерам.

Поскольку целевая функция (2) не является выпуклой, а ограничения (1), (2), (4), (5) в своей совокупности формируют невыпуклое множество допустимых альтернатив, то в общем случае задача нечеткой кластеризации относится к многоэкстремальным задачам нелинейного программирования.

Выбор процедуры для решения задачи автоматической классификации

Необходимые рекомендации по выбору метода нечеткого решения задачи автоматической классификации рисков программного проекта сформулированы здесь исходя из целей классификации и имеющихся содержательных установок о компактности выделяемых групп рисков по характеристикам качества программного проекта и важности рисков для этапа мониторинга [3,4]:

1) если у исследователя существуют содержательные представления об условиях объединения рисков в классы, следует выбрать группу эвристических методов нечеткого подхода в кластерном анализе;

2) если целью классификации является получение нечеткого разбиения на заранее известное число классов, исследуемой совокупности рисков, то следует выбрать группу оптимизационных методов нечеткого подхода в кластерном анализе;

3) если целью классификации является получение наглядного представления о нечеткой структуре классифицируемой совокупности рисков сравнительно небольшого объема, то следует выбрать иерархические методы нечеткого подхода в кластерном анализе.

На следующем этапе рассматриваемого способа требуемый алгоритм эвристического направления нечеткого подхода к решению задачи автоматической классификации рисков программного проекта может быть выбран в соответствии с рекомендациями [3-5]:

1) если число рисков исследуемой совокупности достаточно велико и на множестве рисков оказывается возможным определить нечеткое подмножество рисков, то следует обосновать выбор необходимой метрики классификации и использовать алгоритм Гитмана - Левина;

2) если целью классификации является предварительный анализ исследуемой совокупности рисков программного проекта, в процессе которого требуется получить разбиение

множества рисков проекта на заданное число четких классов рисков, то следует использовать алгоритм Тамуры - Хигути - Танаки;

3) если допускается пересечение нечетких кластеров, а также имеются предположения о минимальном числе объектов (рисков) в каждом нечетком кластере, то следует обосновать выбор порога классификации и использовать алгоритм Кутюрье - Фьолео;

4) если число элементов множества рисков программного проекта сравнительно невелико, а также существуют предположения о сложной форме кластеров и требуется визуальное представление результатов классификации, то следует выбрать алгоритм классификации на нечетких графах Берштейна - Дзюбы;

5) если все риски проекта должны быть классифицированы т.е. распределены по нечетким кластерам и количество формируемых кластеров неизвестно то следует выбрать горный алгоритм Ягера – Филева;

6) если же для решения задачи классификации рисков проекта выбрано оптимизационное направление, то главной проблемой оказывается обоснование вида функционала. Поскольку выбор функционала определяется, помимо формы матрицы исходных данных, вида шкалы, в которой измерены признаки, и типа признакового пространства, также спецификой конкретной задачи, то при выборе функционала качества разбиения целесообразно учитывать содержательную интерпретацию функционала [2].

С учетом представленных выше рекомендаций одним из рациональных методов решения поставленной задачи нечеткой кластеризации рисков проекта может рассматриваться алгоритм нечеткой кластеризации методом нечетких c -средних [5,6].

Алгоритм нечеткой кластеризации рисков методом нечетких c -средних

Алгоритм нечетких c -средних (FCM, Fuzzy C-Means) для решения задачи нечеткой кластеризации рисков в виде (1)-(5) имеет итеративный характер последовательного улучшения некоторого исходного нечеткого разбиения рисков $\mathfrak{R}(A) = \{A_k \mid A_k \subseteq A\}$, которое задается пользователем или формируется автоматически по некоторому эвристическому правилу. На каждой из итераций рекуррентно пересчитываются значения функций принадлежности нечетких кластеров рисков и их типичные представители [5,6].

Алгоритм FCM закончит работу в случае, когда произойдет выполнение заданного априори некоторого конечного числа итераций, либо когда минимальная абсолютная разность между значениями функции принадлежности на двух последовательных итерациях не станет меньше некоторого априори заданного значения.

Формально алгоритм FCM определяется в форме итеративного выполнения следующей последовательности шагов:

1. Предварительно необходимо задать следующие значения: количество искомым нечетких кластеров рисков $c (c \in N \text{ и } c > 1)$, максимальное количество итераций алгоритма $s (s \in N)$, параметр сходимости алгоритма $\varepsilon (\varepsilon \in R_+)$, а также экспоненциальный вес расчета целевой функции и центров кластеров рисков m (как правило, $m=2$). В качестве текущего нечеткого разбиения рисков на первой итерации алгоритма для матрицы данных D задать некоторое исходное разбиение $\mathfrak{R}(A) = \{A_k \mid A_k \subseteq A\}$ на c непустых нечетких кластеров рисков, которые описываются совокупностью функций принадлежности $\mu_k(R_i) (\forall k \in \{2, \dots, c\}, R_i \in R)$.

2. Для исходного текущего нечеткого разбиения рисков $\mathfrak{R}(A) = \{A_k \mid A_k \subseteq A\}$ по формуле (2) рассчитать центры нечетких кластеров рисков $v_j^k (\forall k \in \{2, \dots, c\}, P_j \in P)$ и

значение целевой функции $f(A_k, v_j^k)$ по формуле (3). Количество выполненных итераций положить равным 1.

3. Сформировать новое нечеткое разбиение рисков $\mathfrak{R}'(A) = \{A_k \mid A_k \subseteq A\}$ исходного множества рисков R на c непустых нечетких кластеров рисков, характеризуемых совокупностью функций принадлежности $\mu_k'(R_i) (\forall k \in \{2, \dots, c\}, R_i \in R)$, которые определяются по формуле:

$$\mu_k'(R_i) = \left(\sum_{l=1}^c \left(\frac{\left(\sum_{j=1}^q (x_j^i - v_j^k)^2 \right)^{\frac{1}{2}}}{\left(\sum_{j=1}^q (x_j^i - v_j^l)^2 \right)^{\frac{1}{2}}} \right)^{\frac{2}{m-1}} \right)^{-1} \quad (\forall k \in \{2, \dots, c\}, R_i \in R).$$

4. При этом, если для некоторого $k \in \{2, \dots, c\}$ и некоторого $R_i \in R$ значение $\sum_{j=1}^q (x_j^i - v_j^k)^2 = 0$, то для соответствующего нечеткого кластера рисков A_k полагаем $\mu_k'(R_i) = 1$, а для остальных $A_l (\forall l \in \{2, \dots, c\}, l \neq k)$ полагаем $\mu_l'(R_i) = 0$. Если же таких $k \in \{2, \dots, c\}$ для некоторого $R_i \in R$ окажется несколько, т.е. для них значение $\sum_{j=1}^q (x_j^i - v_j^k)^2 = 0$, то эвристически для меньшего из k полагаем $\mu_k'(R_i) = 1$, а для остальных $l \in \{2, \dots, c\}, l \neq k$ полагаем $\mu_l'(R_i) = 0$.

5. Для нового нечеткого разбиения рисков $\mathfrak{R}'(A) = \{A_k \mid A_k \subseteq A\}$ по формуле (2) рассчитать центры нечетких кластеров рисков $v_j^k (\forall k \in \{2, \dots, c\}, P_j \in P)$ и значение целевой функции $f'(A_k, v_j^k)$ по формуле (3).

6. Если количество выполненных итераций превышает заданное число s или модуль разности $|f(A_k, v_j^k) - f'(A_k, v_j^k)| \leq \varepsilon$, т.е. не превышает значения параметра сходимости алгоритма ε , то в качестве искомого результата нечеткой кластеризации принять нечеткое разбиение рисков $\mathfrak{R}'(A) = \{A_k \mid A_k \subseteq A\}$ и закончить выполнение алгоритма. В противном случае считать текущим нечетким разбиением рисков $\mathfrak{R}(A) = \mathfrak{R}'(A)$ и перейти на шаг 3 алгоритма, увеличив на 1 количество выполненных итераций.

Алгоритм FCM по своему характеру относится к приближенным алгоритмам поиска экстремума целевой функции (3) при наличии ограничений (1), (2), (4), (5). Поэтому в результате выполнения данного алгоритма, определяется локально-оптимальное разбиение рисков $\mathfrak{R}^*(A)$, которое описывается совокупностью функций принадлежности $\mu_k(R_i) (\forall k \in \{2, \dots, c\}, R_i \in R)$, а также центры или типичные представители каждого из нечетких кластеров $v_j^k (\forall k \in \{2, \dots, c\}, P_j \in P)$.

Для получения более адекватных результатов необходимо многократно выполнять алгоритм FCM для различных исходных разбиений и, если неизвестно количество нечетких

кластеров, для различных значений c ($c \in N$ и $c > 1$). Полученные результаты для одинаковых значений c сравниваются по значениям целевой функции полученных нечетких разбиений с целью принятия окончательного решения об искомой нечеткой кластеризации.

Таким образом, предложенная постановка задачи нечеткой кластеризации рисков проекта и рассмотренный метод ее решения позволяют построить автоматизированную процедуру определения квазиоптимального состава рисков программного проекта для этапа мониторинга рисков проекта. Включение такой процедуры в состав автоматизированного процесса управления программными проектами значительно повышает эффективность процесса управления рисками по характеристикам качества [1, 3].

Программная процедура определения квазиоптимального состава рисков проекта для этапа мониторинга

Предлагаемая для программной реализации процедура определения квазиоптимального состава рисков программного проекта представлена на рисунке и содержит два этапа анализа и классификации рисков проекта [5-9]:

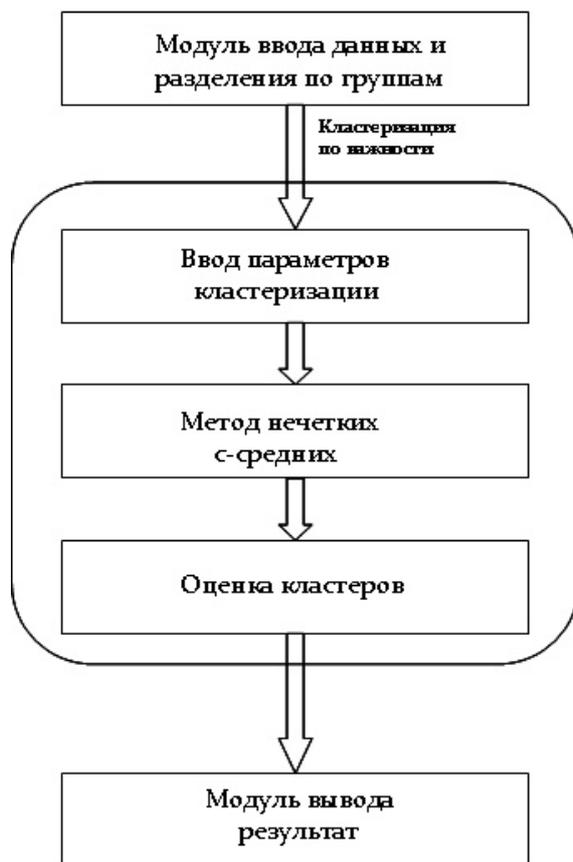


Рис. Процедура классификации рисков проекта

- 1) ввод исходных данных, содержащих экспертные оценки влияния потенциальных рисков на характеристики проекта;
- 2) классификация рисков по характеристикам качества проекта: функциональность, надежность, удобство применения, эффективность, удобство сопровождения, переносимость;
- 3) классификация рисков проекта в пределах каждой группы по важности рисков;

4) с учетом ресурсных ограничений проекта формирование окончательного квазиоптимального состава рисков для этапа мониторинга рисков проекта.

Заключение

Представленные в работе результаты исследований по формализации и решению задачи автоматической классификации рисков качества ПП методами нечеткой кластеризации позволяют на практике определить оптимизированный состав контролируемых рисков с целью последующего мониторинга рисков, что в итоге позволяет существенно повысить эффективность всего процесса управления рисками программного проекта в условиях нечеткости.

Библиографический список

1. Липаев В.В. Анализ и сокращение рисков проектов сложных программных средств. М.: СИНТЕГ, 2005. 224 с.
2. Фатрелл Р.Т., Шафер Д.Ф., Шафер Л.И. Управление программными проектами: достижение оптимального качества при минимальных затратах: пер. с англ. М.: Вильямс, 2003. 1136 с.
3. Таганов А.И. Основы идентификации, анализа и мониторинга проектных рисков качества программных изделий в условиях нечеткости. Монография. М.: Горячая линия – Телеком, 2012. 224 с.
4. Корячко В.П., Таганов А.И. Программный метод управления рисками качества проекта информационной системы // Научно-технический журнал «Известия Белорусской инженерной академии». Выпуск 1(17)/4, 2004. - С. 168-179.
5. Леоненков А. Нечеткое моделирование в среде MATLAB и fuzzyTECH. – СПб.: БХВ-Петербург, 2003. – 736 с.
6. Демидова Л.А., Кираковский В.В., Коняева Е.И. Классификация объектов жилого фонда на основе FCM-алгоритма и генетического алгоритма // Математическое и программное обеспечение вычислительных систем: межвуз. сб. науч. тр. / под ред. А.Н. Пылькина. – М.: Горячая линия – Телеком, 2008.
7. Таганов Р.А., Таганов А.И. Метод нечеткой кластеризации рисков для формализации анализа рисков программного проекта // Материалы III Международного научно-практического семинара «Интегрированные модели и мягкие вычисления в искусственном интеллекте». Коломна, 2005.
8. Таганов А.И. Способ снижения размерности задачи анализа рисков программного проекта методами нечеткой классификации. // Современные проблемы информатизации в моделировании и социальных технологиях: Сб. трудов. Вып. 15/ Под ред. д.т.н., проф. О.Я. Кравца. – Воронеж: «Научная книга», 2010. - С. 290 – 291.
9. Таганов А.И., Таганов Р.А., Суворов А.В. Классификация рисков проекта методами нечеткого кластерного анализа // Материалы 15-й Международной науч. техн. конф. «Проблемы передачи и обработки информации в сетях и системах телекоммуникаций». Часть 2. Рязань: РГРТУ, 2008. - С. 22-24.
10. Руководство к своду знаний по управлению проектом (Руководство PMI). Институт управления проектами (PMI). Шестое издание, 2017. 726 с.
11. ГОСТ Р ИСО 31010:2011. «Менеджмент риска. Методы оценки риска». Введ. 2011-12-01. М.: ФГУП «СТАНДАРТИНФОРМ», 2012. 69 с.

УДК 004.932.2

АНАЛИЗ СВЕРТОЧНЫХ НЕЙРОННЫХ СЕТЕЙ ДЛЯ ЗАДАЧИ РАСПОЗНАВАНИЯ ОБЪЕКТОВ НА КОСМИЧЕСКИХ ИЗОБРАЖЕНИЯХ

Е.С. Щенёв

*Рязанский государственный радиотехнический университет имени В.Ф. Уткина,
Российская Федерация, Рязань, Jheka1235317@gmail.com*

Аннотация. В статье рассматривается концепция свёрточных нейронных сетей и области их применения. Выполнен обзор структуры СНС и дано краткое описание существующих свёрточных нейронных сетей для задачи распознавания объектов на космических изображениях.

Ключевые слова: свёрточная нейронная сеть, СНС, слой, свёрточный слой, слой активации, пулинг.

ANALYSIS OF CONVOLUTIONAL NEURAL NETWORKS FOR THE TASK OF RECOGNIZING OBJECTS IN SATELLITE IMAGES

E.S. Shchenev

*Ryazan State Radio Engineering University named after V.F. Utkin,
Russia, Ryazan, Jheka1235317@gmail.com*

The summary. The article discusses the concept of convolutional neural networks and their applications. The structure of the SNA is reviewed and a brief description of the existing convolutional neural networks for the problem of recognizing objects in satellite images.

Keywords: convolutional neural network, CNN, layer, convolutional layer, activation layer, pooling.

Искусственные нейронные сети, входящие в состав технологий глубокого обучения, вызывают огромный интерес в последнее время. Наиболее устойчивым алгоритмом среди разнообразия моделей нейронных сетей является свёрточная нейронная сеть (CNN). Свёрточная нейронная сеть (convolutional neural network, CNN) – специальная архитектура искусственных нейронных сетей, предложенная Яном Лекуном в 1988 году и нацеленная на эффективное распознавание образов [1]. Работа свёрточной нейронной сети обычно интерпретируется как переход от конкретных особенностей изображения к более абстрактным деталям, и далее к ещё более абстрактным деталям вплоть до выделения понятий высокого уровня. При этом сеть самонастраивается и вырабатывает необходимую иерархию абстрактных признаков (последовательности карт признаков), фильтруя маловажные детали и выделяя существенные.

Распознавание объектов на космических изображениях

В настоящее время технологии дистанционного зондирования Земли позволяют вести наблюдение за требуемыми территориями с высоким разрешением. Несмотря на то, что распознавание объектов на космических изображениях является сложной задачей, использование таких технологий необходимо для обработки огромных объемов изображений с целью обнаружения, локализации и классификации объектов.

С каждым годом количество спутников дистанционного зондирования Земли и объем получаемых изображений увеличивается. Последующая обработка полученной спутниковой информации является сложным процессом по причине многократного увеличения получаемых данных. Сейчас подобная работа занимает от нескольких десятков или сотен часов труда специалистов дешифрования.

Для повышения качества и скорости обработки космических данных создаются специально обученные свёрточные нейронные сети, способные осуществлять разметку данных и в автоматическом режиме проводить поиск и отметку значимой для пользователя инфор-

мации. Подобные системы способны автоматически проводить обработку спутниковых данных, например, обнаруживать границы наводнений, лесные пожары, идентифицировать незаконные постройки. Создание подобных сервисов на основе сверточных нейронных сетей помогает в работе с космическими данными, увеличивая качество аналитики и сокращая время работы специалистов.

Анализ спутниковых данных является немаловажным для многих прикладных задач. К числу таких задач относятся сегментация и классификация территорий земной поверхности, которая также называется классификацией сцены.

Такая задача, как правило, выполняется в два этапа: выделение особенностей (семантическая сегментация, feature extraction) и классификация. Первый этап включает в себя детектирование объектов сцены (object detection), распознавание образов (image retrieval) и реконструкцию зрительной сцены (scene reconstruction). При этом особый интерес представляют методы автоматической сегментации изображения, которые можно строить, применяя подход сверточных нейронных сетей, основанный на использовании предварительно настроенных сверточных нейронных сетей.

Рассмотрим отобранные примеры наиболее часто используемых моделей сверточных нейронных сетей для задачи распознавания объектов на космических изображениях.

AlexNet

AlexNet – модель сверточной нейронной сети, разработанная А. Крижевским. Используется для обработки больших изображений высокого разрешения. Состоит из пяти сверточных слоев. За первым, вторым и пятым сверточными слоями следуют слои пулинга, а затем – три полносвязных слоя. В качестве функции активации сетевого нейрона используется нелинейная функция $f(x) = \max(0, x)$ (известная как ReLU, rectified linear unit) вместо обычной нелинейной функции с насыщением для ускорения процесса обучения. Используется также операция разреживания сетевых связей (dropout).

На рисунке 1 представлена схема сети AlexNet.

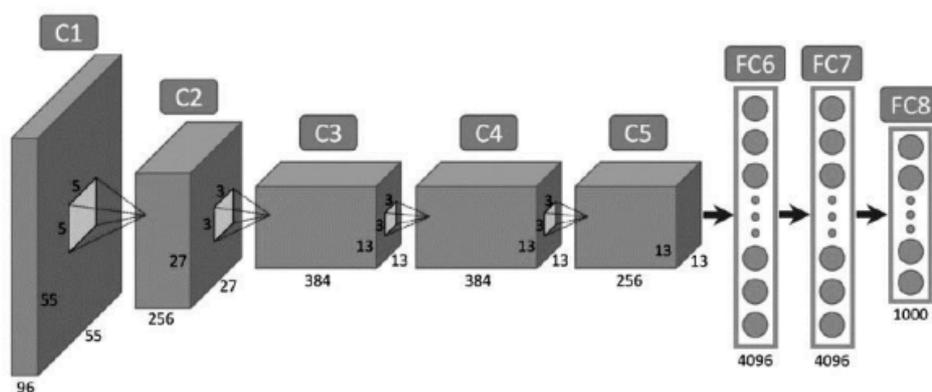


Рис. 1. Схема сети AlexNet

U-Net

Исходный датасет (набор данных) состоит из снимков, полученных со спутников. В начале работы выделяется область, на которой будет проходить обучение нейронной сети (либо же выделение происходит случайным образом) и формируется маска.

В обучении используется 2 типа модели: тренировочная и результирующая.

Сверточная нейронная сеть состоит из четырех шагов: Convolution, Max Pooling, Flattening и Full Connection. На шаге Convolution берётся 32 фильтров размеров 160 на 160.

Также используется ReLu Layer, который избавляет карту признаков от отрицательных значений и превращает их в нули. Таким образом, получаются новые Rectified feature maps. Параметр, отвечающий за padding в функции стоит 'same', что означает обрамление входного изображения нулями для контроля размера карты признаков.

Наилучшая модель наблюдается с BatchNormalization – методом, повышающим производительность обучения сверточной нейронной сети за счет нормализации данных, которые подаются на вход некоторым слоям.

При получении результирующей модели выбирается функция оптимизации для минимизации ошибки предсказаний. Таким образом, в результате реализации данной модели удаётся получить изображение, представленное на рисунке 2.

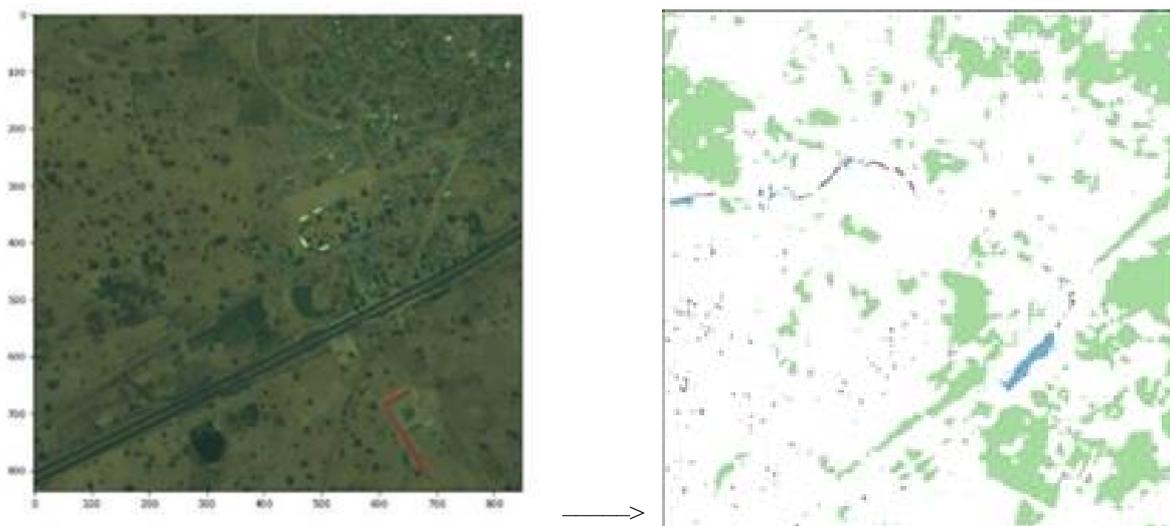


Рис. 2. Результат реализации модели U-Net

CaffeNet

Сеть CaffeNet (Convolutional Architecture for Fast Feature Embedding) имеет архитектуру, сходную с архитектурой AlexNet, с двумя модификациями:

1. в процессе обучения не используется dropout;
2. использован другой порядок сверточных слоев и слоев пулинга.

При обучении на базе данных ILSVRC-2012 качество работы CaffeNet близко к качеству работы AlexNet. В ней изменен порядок слоев, некоторые из которых объединены, в результате чего вычисления при обучении сети происходят быстрее и требуют меньшего объема памяти. Пакет сети CaffeNet работает точнее и имеет меньшее число случайных ошибок.

DetectoRS

У данной сети есть вариации для обнаружения объектов и сегментации изображений, если необходимо использовать информацию не только о координатах, но и конкретных масках. Для дообучения такой сети нужно не очень большое количество эпох.

Эта архитектура является продолжением идей двухстадийных детекторов, таких, как FasterRCNN и MaskRCNN, и у неё есть две особенности.

- 1) Recursive Feature Pyramid — осуществляется несколько проходов по пирамиде признаков и на каждом проходе учитываются извлеченные признаки из прошлой итерации.
- 2) Switchable Atrous Convolution — один и тот же сверточный модуль запускают с разным расстоянием между пикселями, тем самым позволяя учитывать взаимосвязь пикселей на разном расстоянии относительно изображения.

После дообучения модели на изначально выбранной выборке может появиться необходимость в увеличении значения метрики, для чего может использоваться Test Time Augmentation. Test Time Augmentation — подход применения объединения данных на этапе предсказания модели. На каждом этапе получаются 8 вариаций исходного изображения, для которых делаются предсказания и усреднение.

При обучении итоговой модели большим числом эпох, метрики становятся выше, что позволяет приблизить точность результата к единичному значению. На рисунке 3 представлен результат обучения модели DetectoRS.



Рис. 3. Результат обучения модели DetectoRS

Заключение

Решение задачи автоматического выделения и распознавания объектов на космических изображениях является одной из наиболее сложных и актуальных проблем. Аппарат нечетких множеств и логики давно применяется для решения задач такого типа, но в настоящее время наиболее достоверные результаты удается получать с использованием сверточных нейронных сетей. Дополнительным фактором в такой работе является время – скорость выделения и распознавания различных объектов на изображениях, которые поступают на вход. Особенно этот фактор становится значимым из-за огромного объема получаемых снимков поверхности Земли и при решении задач чрезвычайных ситуаций. По этим причинам отбор, анализ и изучение сверточных нейронных сетей для распознавания объектов на космических изображениях действительно является актуальным.

Отобранные в настоящей работе сверточные нейронные сети AlexNet, U-Net, CaffeNet, DetectoRS позволяют осуществлять в автоматическом режиме поиск и разметку значимой для пользователя информации на изображениях. Для выбора варианта их использования при решении задачи распознавания объектов на космических предстоит в одинаковых условиях исследовать вопросы качества распознавания объектов, скорости обработки и возможности распараллеливания для больших объемов данных, а также особенности процедур обучения и используемых библиотек обучения.

Библиографический список

1. Сверточные нейронные сети. Википедия, свободная энциклопедия https://ru.wikipedia.org/wiki/Свёрточная_нейронная_сеть (Дата обращения – 26.01.2023);
2. Convolutional Neural Networks (LeNet) - DeepLearning 0.1 documentation. DeepLearning 0.1. LISA Lab (Дата обращения – 28.01.2023);
3. Matusugu, Masakazu, Katsuhiko Mori. Detection using a convolutional neural network. http://www.iro.umontreal.ca/~pift6080/H09/documents/papers/sparse/matsugo_et_al_face_expression_conv_nnet.pdf (Дата обращения – 28.01.2023);
4. Распознавание объектов на снимках со спутников. Siyuan Qiao, Liang-Chieh Chen, Alan Yuille, <https://arxiv.org/abs/2006.02334> (Дата обращения – 04.02.2023);
5. Сегментация экземпляров и объектов, сверточная нейронная сеть Mask R-CNN, Kaiming He Georgia Gkioxari Piotr Dollar Ross Girshick. <https://arxiv.org/pdf/1703.06870.pdf>. (Дата обращения – 05.02.2023).

УДК 004.932.2

РАЗРАБОТКА ПРОГРАММЫ СТАТИСТИЧЕСКОЙ ОБРАБОТКИ И ВИЗУАЛИЗАЦИИ ДАННЫХ ДЛЯ ПОИСКА ПЛОСКОСТИ НАИЛУЧШЕГО ИЗОБРАЖЕНИЯ КА ДЗЗ

С.Д. Антонушкина, П.А. Князьков

Рязанский государственный радиотехнический университет имени В.Ф. Уткина,
Российская Федерация, Рязань, foton@rsreu.ru

Аннотация. Рассмотрены процессы поиска плоскости наилучшего изображения для аппаратов дистанционного зондирования Земли.

Ключевые слова: качество космического изображения, плоскость наилучшего изображения, линейное разрешение на местности.

DEVELOPMENT OF A SOFTWARE FOR STATISTICAL PROCESSING AND VISUALIZATION OF DATA FOR SEARCH THE BEST IMAGE PLANE FOR REMOTE SENSING SATELLITE

S.D. Antonushkina, P.A. Knyazkov

Ryazan State Radio Engineering University named after V.F. Utkin,
Russia, Ryazan, foton@rsreu.ru

Abstract. The processes of searching the plane of the best image for Earth remote sensing satellite are considered.

Keywords: space image quality, the plane of the best image, linear resolution on the terrain.

На качество получаемых материалов дистанционного зондирования Земли (ДЗЗ) оказывает влияние реализация режима накопления заряда, работа системы управления движением космического аппарата (КА), уровни температур фокальной плоскости и телескопа, положение фокальной плоскости в зоне максимальной резкости изображения. Так, небольшие смещения фокальной плоскости могут привести к значительному снижению линейного разрешения на местности (ЛРМ) изображения – агрегированной характеристики, определяющей минимальные размеры наблюдаемых на изображении объектов.

Вопрос оценки ЛРМ как основного информационного параметра изображений остро стоит в процессе поиска плоскости наилучшего изображения (ПНИ) объектива, выбора оптимальных режимов работы съемочной аппаратуры КА и распространения материалов ДЗЗ. Для автоматической оценки ЛРМ и определения ПНИ, получаемых от оптико-электронной аппаратуры высокого разрешения Рязанским государственным радиотехническим университетом по заказу АО «РКЦ «Прогресс», разработаны соответствующие технологии [1]. В докладе рассмотрены данные технологии и программное обеспечение статистической обработки и визуализации получаемых оценок ЛРМ, а также результаты практической апробации с привлечением изображений, полученных ОЭА ВР КА «Ресурс-П».

Автоматическая оценка и статистическая обработка данных ЛРМ

Определение резких краев на изображениях является важнейшей задачей при оценке их ЛРМ. Классический способ определения резких краев заключается в последовательном просмотре оператором всего изображения, выделении контрастных границ однородных объектов и измерении их характеристик. Недостатком такого подхода являются затраты времени и влияние человеческого фактора, который проявляется в пропуске подходящих объектов.

Особенностью разработанной технологии автоматической оценки ЛРМ является использование для выделения границ объектов изображения масок специальной формы и размера, позволяющих выделять границы произвольной ориентации с контролем перепада яркости, однородности полей яркости и величины смаза изображения. По результатам выделения границ изображения производится разметка объектов бинарного изображения, оценка их геометрических характеристик и фильтрация. Отобранные объекты далее используются как

координаты резких краев для последовательного определения по ним функций рассеяния края, линии и передачи модуляции. С целью оценки ЛРМ для каждого из четырех направлений развертки изображения выбирается настраиваемое число резких краев, функции рассеяния края которых имеют максимальный относительный отклик [1].

По результатам выполнения процедуры оценки ЛРМ в автоматизированном или автоматическом режиме локально на рабочих станциях или в настраиваемых сетевых каталогах записываются в файлы форматов XML и CSV. Для решения задачи статистической обработки и визуализации результатов оценки ЛРМ спутниковых изображений разрабатывается программа на языке Python [2]. Использование языка Python позволяет одновременно использовать программу в операционных системах Windows и Linux, что является актуальным в условиях импортозамещения. Другой отличительной особенностью языка Python является возможность использования библиотек обработки, анализа и визуализации данных `pandas`, `matplotlib` и `seaborn`.

Разрабатываемая программа обеспечивает выполнение следующих функций:

- чтение файлов с оценками ЛРМ в форматах XML и CSV;
- отбор прочитанных данных по космическим аппаратам и датам съемки;
- удаление из матрицы выборки «сырых» данных (значений по умолчанию, пропуска данных, неправильного ввода данных);
- выявление и обработка выбросов, статистическая обработка итоговой выборки оценок параметров качества [3];
- визуализацию данных оценок ЛРМ по датам съемки, файлам маршрутов съемки и статистикой обработки;
- агрегацию данных оценок ЛРМ и их визуализация для задачи поиска ПНИ;
- автоматическое выполнение функций программы с заданной периодичностью.

Ниже на рисунках 1 и 2 приведены результаты визуализации практической апробации технологии автоматической оценки ЛРМ с привлечением панхроматических изображений, полученных от аппаратуры ОЭА ВР КА «Ресурс-П» № 1. Каждой точечной отметкой на графиках является оценка ЛРМ для зоны компенсации маршрута съемки. Нормализованным условиям съемки соответствуют оценки ЛРМ с единым масштабом наблюдения (рисунок 2).

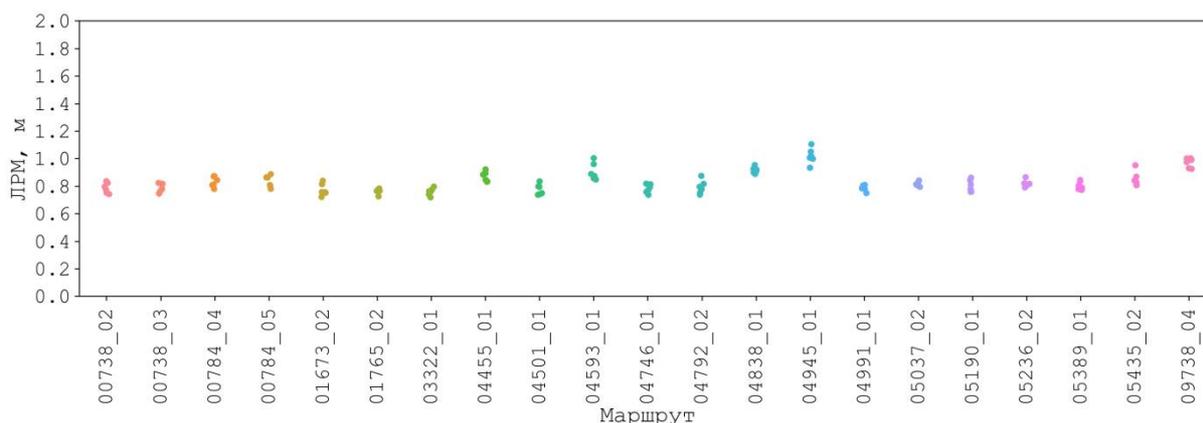


Рис. 1. Результаты автоматической оценки ЛРМ по файлам маршрутов для реальных условий съемки

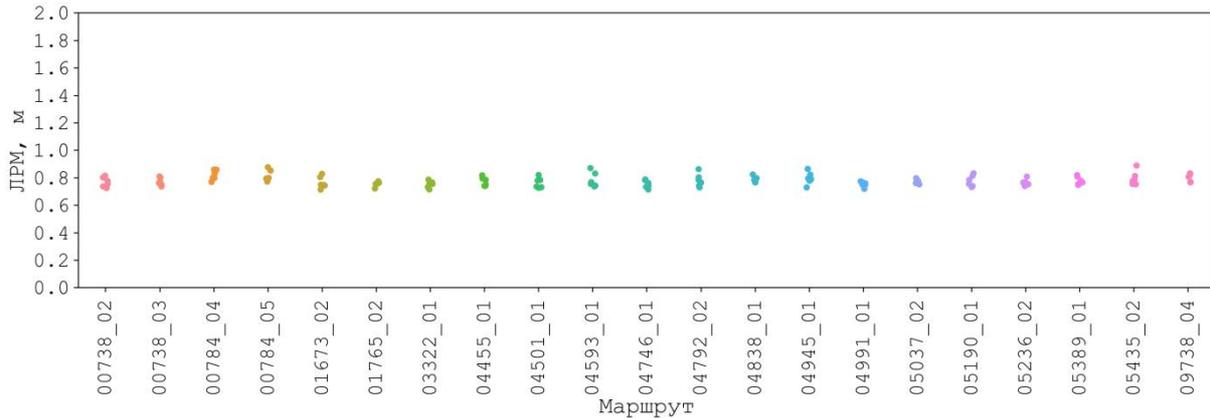


Рис. 2. Результаты автоматической оценки ЛРМ по файлам маршрутов для нормализованных условий съемки

На рисунке 3 приведены диаграммы размаха [3] для автоматических оценок ЛРМ зон компенсаций для реальных и нормализованных условий съемки ОЭА ВР КА «Ресурс-П» № 1. По диаграммам размаха в нормализованных условиях съемки видно, что фокальная плоскость находится в корректном положении и получаемые изображения имеют стабильное высокое качество.

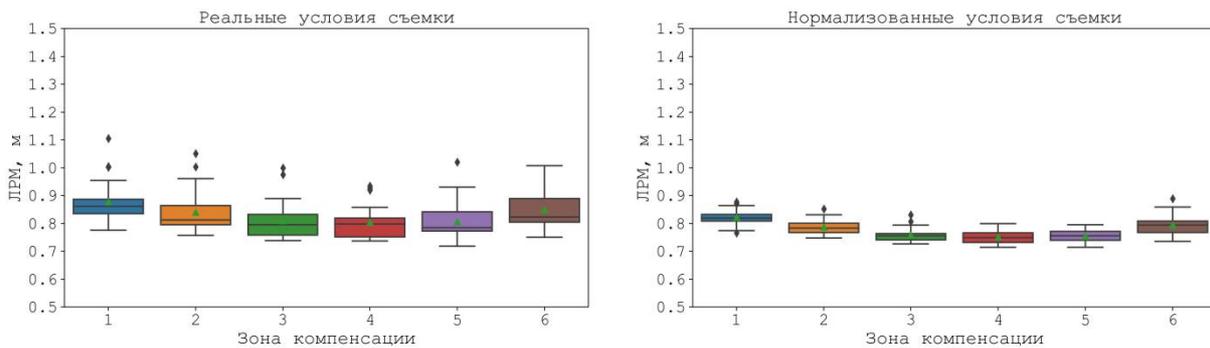


Рис. 3. Результаты статистической обработки автоматических оценок ЛРМ по файлам зон компенсаций

Использование рассматриваемых технологий автоматической оценки и визуализации ЛРМ позволяет более оперативно и точно производить непрерывный контроль работы съемочной аппаратуры.

Агрегация и визуализация данных оценок ЛРМ для задачи поиска ПНИ

Поиск ПНИ объектива выполняется с целью получения наиболее качественных изображений с точки зрения их дешифрируемости в процессе летных испытаний и штатной эксплуатации КА ДЗЗ. Для КА «Ресурс-П» и «Ресурс-ПМ» Рязанским государственным радиотехническим университетом разработана технология автоматического поиска ПНИ. Способ автоматического поиска ПНИ основан на использовании технологии автоматической оценки ЛРМ.

Для КА «Ресурс-П» поиск ПНИ основан на перемещении положения фокального узла с установленным на нем оптико-электронным преобразователем вдоль оптической оси объектива в процессе съемки протяженного маршрута и оценке ЛРМ изображения для каждого резкого края в областях постоянного положения фокального узла. На основе строк изображений с лучшими оценками ЛРМ делается вывод о положении ПНИ. На рисунке 4 отображен график отношения проекции изображения к получаемым оценкам ЛРМ по строкам изо-

бражения. Прямоугольными областями T1-T8 помечены области с постоянным положением фокальной плоскости. По положению максимума графика в областях T1-T8 возможно определение искомой ПНИ (области T3 и T8 соответствуют одному положению фокальной плоскости на дефокусировочном маршруте съемки).

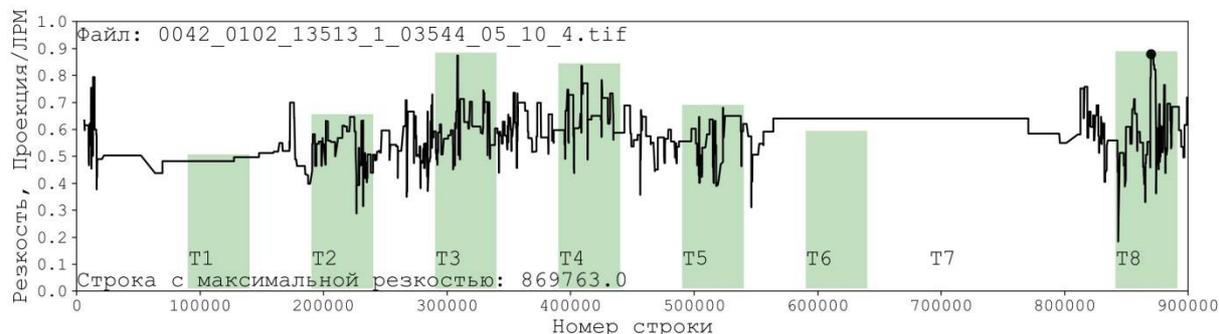


Рис. 4. Результаты поиска ПНИ для маршрутов съемки с переменным положением фокальной плоскости

Для КА «Ресурс-ПМ» предполагается процедура поиска ПНИ с постоянным положением узла фокусировки на протяжении съемки маршрута. В этом случае поиск ПНИ основан на получении автоматических оценок ЛРМ маршрутов съемки в нормализованных условиях и выбором положения узла фокусировки, при котором наблюдаются минимальные значения ЛРМ. На рисунке 5 отображен пример графика с результатом поиска ПНИ по модельным данным от КА «Ресурс-ПМ». Такие модельные данные получены из изображений от КА «Ресурс-П» путем вырезания и сохранения зон T1-T8 в файлы отдельных маршрутов съемки.

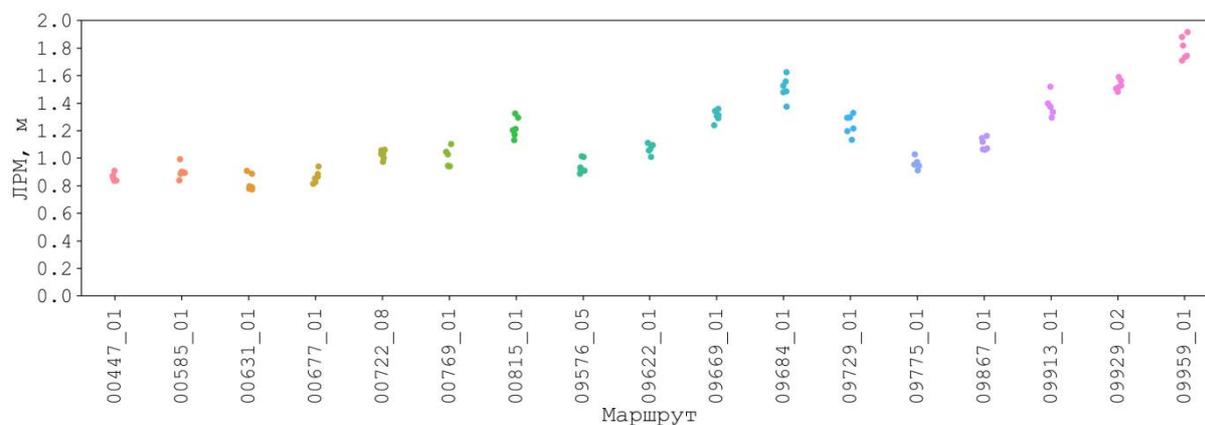


Рис. 5. Результаты поиска ПНИ для изображений с постоянным положением узла фокусировки на маршруте

Использование представленных технологий позволяет оперативно и объективно производить настройку и непрерывный контроль работы съемочной аппаратуры. В докладе представлены алгоритм работы программы статистической обработки и визуализации оценок ЛРМ и результаты ее тестирования на натурной информации от КА ДЗЗ.

Библиографический список

1. Еремеев В.В., Князьков П.А., Мятлов Г.Н., Фёдоров В.М. Результаты практической апробации технологии автоматического поиска плоскости наилучшего изображения КА «Ресурс-П» // Материалы V Всерос. науч.-техн. конф. «Актуальные проблемы ракетно-космической техники». Самара: СамНЦ РАН, 2017.
2. Антонушкина С.Д. Разработка программного модуля статистической обработки оценок параметров качества изображений от КА ДЗЗ // Тез. докл. XXVII-й всерос. науч.-техн. конф. студентов, молодых ученых и специалистов «Новые информационные технологии в научных исследованиях». Рязань: РГРТУ, 2023. С. 82–83.
3. ГОСТ Р ИСО 16269-4-2017 Статистическое представление данных. Выявление и обработка выбросов.

УДК 621.396; ГРНТИ

СИНТЕЗ ЭЛЛИПТИЧЕСКИХ ПОЛОСОВЫХ ФИЛЬТРОВ СИСТЕМ СВЯЗИ

Е.П. Васильев, Лыу Тхань Дат

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

Аннотация. В данной работе рассматривается синтез полосовых фильтров (ПФ) с эллиптической аппроксимацией с помощью процедуры тождественных преобразований прототипных схем. Проведены результаты преобразования элементов схемы ПФ.

Ключевые слова: эллиптический полосовой фильтр, тождественные преобразования, прототипные схемы.

SYNTHESIS OF ELLIPTICAL BAND-PASS FILTERS OF COMMUNICATION SYSTEMS

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 the synthesis of band-pass filters (BPF) with elliptic approximation using the procedure of identical transformations of prototype circuits. The results of the transformation of the elements of the BPF scheme are carried out.

Keywords: elliptic band-pass filter, identity transformations, prototype circuits.

Результаты экспериментальных исследований показывают, что при прочих равных условиях, ПФ с характеристиками Золотарёва-Кауэра позволяют добиться при значениях полосы пропускания $v_n \leq 5\%$ преимущества по сравнению с аппроксимациями Чебышева, Баттерворта и ПФ с идентичными резонаторами за счёт получения меньших величин затухания на резонансной частоте a_0 , коэффициента прямоугольности – K_n (см. таблицу 1) и массогабаритных показателей [1]. При этом общие вопросы синтеза фильтров не позволяют эффективно решать многовариантные задачи конструирования данного класса устройств. Поэтому **целью данной работы** является разработка алгоритма преобразования элементов ПФ для конструктивной реализации характеристик Золотарёва-Кауэра.

Таблица 1. Параметры АЧХ ПФ спроектированных с использованием различных аппроксимаций при прочих равных условиях.

Параметры АЧХ	Характеристика Золотарёва - Кауэра	ПФ с идентичными резонаторами	Характеристика Чебышева
a_0 , дБ	2,7	4,05	4,35
$K_n = V_{3\text{дБ}} / V_{n\text{дБ}}$	2,19	2,44	2,38

Задача связанная с разработкой алгоритма многовариантного конструктивно-топологического композиционного моделирования эллиптических микроволновых ПФ явля-

ется весьма актуальной и логически вписывающейся в концепцию совершенствования основных характеристик фильтров [2].

Тожественные преобразования прототипных схем

На этапе приближённого синтеза ПФ с эллиптической аппроксимацией используется процедура тождественных преобразований прототипных схем, которая состоит из следующих шагов:

1. По директивным значениям потерь в полосе заграждения α_3 (рис. 1) и неравномерности затухания в полосе пропускания α_n выбираем из таблиц [3] низкочастотный (НЧ) прототип и определяем параметры его элементов (рис. 2).

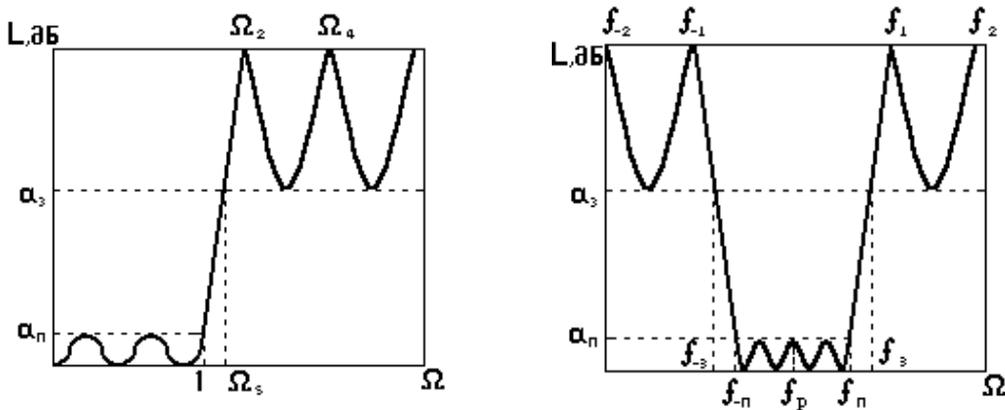


Рис. 1. АЧХ аппроксимации Золотарёва-Кауэра

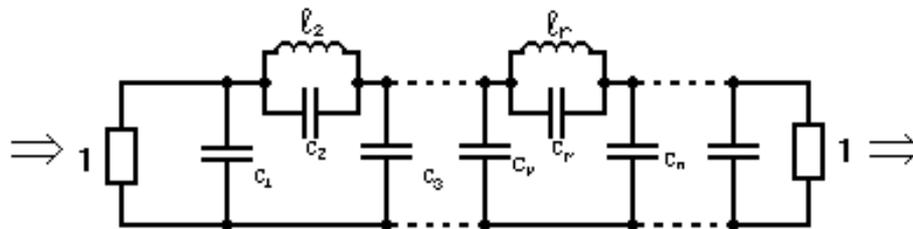


Рис. 2. Схема ФНЧ Кауэра

2. С помощью реактансного частотного преобразования $\Omega_p = (\omega^2 - \omega_p^2) / [\omega(\omega_n - \omega_{-n})]$; $\omega_p^2 = \omega_n \omega_{-n}$ осуществим тождественный переход к прототипной схеме ПФ (рис. 3). При этом каждая общая точка пары резонаторов в последовательной цепи обладает потенциалом, отличным от нулевого, что приводит к влиянию паразитной емкости, существующей между общей точкой двух последовательно включённых параллельных контуров и землёй и которая не учитывается в схеме замещения.

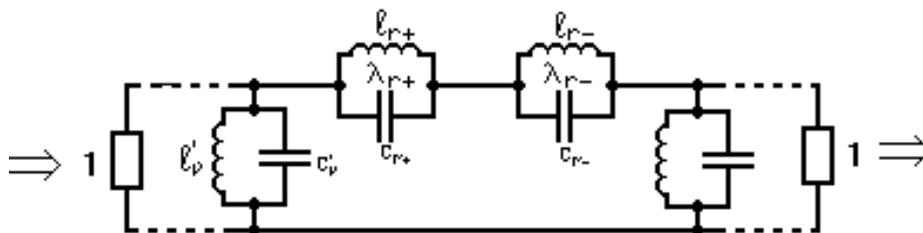


Рис. 3. Прототипной схеме ПФ

Осуществим переход с помощью преобразований Джеффе [4] к схеме ПФ с избыточным числом элементов (рис. 4).

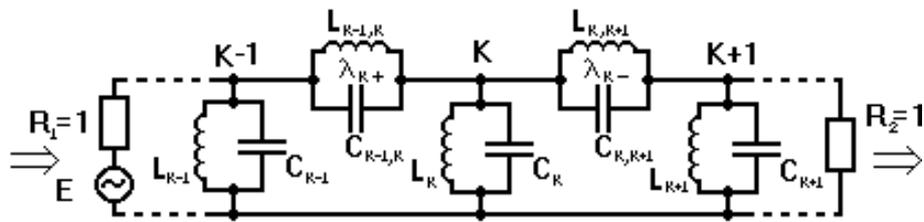


Рис. 4. Схеме ПФ с избыточным числом элементов

При этом элементы НЧ прототипа преобразуются в элементы схемы ПФ посредством соотношений:

$$C_n = \frac{1}{v_{\Pi}} \left(c_n + C_{n-1,n} \eta_{n-1} \right) \left(1 - \frac{1}{\eta_{n-1}} \right) v_{\Pi} + C_{n,n+1} \eta_{n+1} \left(1 - \frac{1}{\eta_{n+1}} \right) v_{\Pi},$$

$$C_{n-1,n} = \frac{c_{n-1}}{v_{\Pi} \eta_{n-1}} \left(1 + \lambda_{(n-1)+}^2 \right), \quad C_{n,n+1} = \frac{c_{n+1}}{v_{\Pi} \eta_{n+1}} \left(1 + \lambda_{(n+1)-}^2 \right);$$

$$\frac{1}{L_n} = \frac{1}{v_{\Pi}} \left[c_n + \frac{v_{\Pi}}{L_{n-1,n}} \eta_{n-1} \left(1 - \frac{1}{\eta_{n-1}} \right) + \frac{v_{\Pi}}{L_{n,n+1} \eta_{n+1}} \left(1 - \frac{1}{\eta_{n+1}} \right) \right];$$

$$L_{n-1,n} = \frac{1}{C_{n-2,n-1}}; \quad L_{n,n+1} = \frac{1}{C_{n+1,n+2}};$$

$$\frac{1}{L_k} = C_k = \frac{(1 - \eta_k)}{\eta_k} \left(\frac{1}{L_{k-1,k}} + \frac{1}{L_{k,k+1}} \right);$$

где $n = 1, 3, 5, \dots$; $k = 2, 4, 6, \dots$; $v_{\Pi} = \frac{f_{\Pi} - f_{-\Pi}}{f_p}$;

$\eta_{n-1}, \eta_{n+1}, \eta_k$ – коэффициенты трансформации в преобразовании Джеффе (не влияют на АЧХ ПФ, но связаны с условием положительности элементов схемы);

c_n, c_{n-1}, c_{n+1} – элементы НЧ прототипа;

$\lambda_{(n-1)+}, \lambda_{(n-1)-}$ – относительные частоты всплесков затухания ПФ.

В заключении отметим – разработан алгоритма преобразования элементов ПФ для конструктивной реализации характеристик Золотарёва-Кауэра, что позволяет снизить коэффициент прямоугольности и потери на резонансной частоте.

Библиографический список

1. Rubinstien I., Slevin R.L., Hinte A.F. Narrow-bandwidth elliptic-function filters // IEEE Trans. microwave theory tech. V. MTT-1. No. 12. 1969. P. 1108-1115.
2. Васильев Е.П. Многовариантное конструктивно-композиционное моделирование эллиптических микроволновых полосовых фильтров // Электронная техника: Межвуз. сб. науч. тр. Рязань, РГРТА. 1999. С. 52-57.
3. Ханзел Г. Справочник по расчету фильтров. М.: Сов. радио, 1974. 288 с.
4. Алексеев Л.В., Знаменский А.Е., Лотков Е.Д. Электрические фильтры метрового и дециметрового диапазонов. М.: Связь, 1976. 280 с.

УДК 621.396; ГРНТИ 47.47

ВЫБОР СТРУКТУРЫ ПОЛОСОВОГО ФИЛЬТРА НА ОСНОВЕ АНАЛИЗА СПЕКТРА СИГНАЛА В СИСТЕМАХ ПЕРЕДАЧИ ИНФОРМАЦИИ С FDMA

М.С. Поборуева, О.А. Бодров

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

Аннотация. В работе рассматриваются системы передачи с частотным разделением каналов и анализ спектральных диаграмм сигнала, которые позволяют выбрать соответствующий тип построения полосового фильтра.

Ключевые слова: множественный доступ с частотным разделением (FDMA), спектральная диаграмма, полосовой фильтр.

SELECTION OF THE BANDPASS FILTER STRUCTURE BASED ON SIGNAL SPECTRUM ANALYSIS IN INFORMATION TRANSMISSION SYSTEMS WITH FDMA

M.S. Poborueva, O.A. Bodrov

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

The summary. The paper considers transmission systems with frequency division of channels and analysis of spectral diagrams of signals that allow you to choose the appropriate type of bandpass filter construction.

Keywords: frequency Division multiple access (FDMA), spectral diagram, bandpass filter

Система передачи информации представляет собой совокупность технических средств для передачи информации от источника к приемнику информации.

Независимо от физической среды передачи сигнала, существенной особенностью является то, что передаваемый сигнал искажается случайным образом различными воздействиями.

Наиболее распространенной формой искажения сигнала является шум, который генерируется на входе приемника, где осуществляется усиление сигнала. При беспроводной передаче дополнительными помехами являются искусственный шум и атмосферный шум, улавливаемый приемной антенной. Так, например, автомобильный шум зажигания является примером техногенного шума, а электрические разряды молнии от грозы – примером атмосферного шума. Помехи от других пользователей канала – это еще одна форма аддитивного шума, который часто возникает как в беспроводных, так и в проводных системах связи. В некоторых каналах радиосвязи, таких как ионосферный канал, который используется для передачи радиосигналов на большие расстояния, другой формой искажения сигнала является многолучевое распространение.

Такое искажение сигнала характеризуется как неаддитивное возмущение сигнала, которое проявляется в виде временных вариаций амплитуды сигнала, обычно называемых замиранием.

Аддитивные и неаддитивные искажения сигнала обычно характеризуются как случайные явления и описываются в статистических терминах. Влияние этих искажений сигнала должно быть учтено при проектировании системы связи. При проектировании системы связи разработчик работает с математическими моделями, статистически характеризующими искажения сигнала, встречающиеся на физических каналах.

Часто статистическое описание, используемое в математической модели, является результатом фактических эмпирических измерений, полученных в экспериментах с использованием сигнала передача по таким каналам. В таких случаях имеется физическое обоснование математической модели, используемой при проектировании систем связи. С другой стороны, в некоторых конструкциях систем связи статистические характеристики канала могут существенно изменяться со временем. В таких случаях разработчик системы может спроектировать систему связи, устойчивую к различным искажениям сигнала. Это может быть достигнуто путем адаптации некоторых параметров системы к возникающим искажениям канала.

Как правило, системы передачи информации являются многоканальными, в которых необходимо обеспечить множественный доступ пользователей. Для объединения пользователей на фиксированных каналах радиосвязи используются три основных метода, относящихся к линейным:

- FDMA – с частотным разделением каналов;
- TDMA – с временным разделением каналов;
- CDMA – с кодовым разделением каналов.

Множественный доступ с частотным разделением (FDMA) – это тип протокола для многоканальных систем. При этом полоса пропускания делится на различные полосы частот. Каждой станции выделяется полоса для передачи данных, и эта полоса зарезервирована для конкретного абонента на все время, которое выглядит следующим образом (рис.1).

Полосы частот разных станций разделены небольшой защитной полосой. Эти неиспользуемые полосы частот предназначены для снижения действия помех других станций.

В первых системах передачи информации в качестве метода множественного доступа для сотовых систем использовался FDMA. В этом случае пользователю назначается пара частот при передаче или приеме вызова. Одна частота (базовая станция-мобильная) используется для нисходящей линии связи и одна пара (мобильная станция-базовая) для восходящей линии связи. Эта частотная пара не используется в одной и той же или соседних ячейках во время вызова.

В течение периода вызова ни один другой пользователь не может совместно использовать один и тот же канал. Если канал FDMA не используется, то он простаивает и не может быть использован другими пользователями для увеличения или совместного использования емкости. Даже если пользователь не разговаривает, то отводимый для него спектр частот не может быть переназначен, пока осуществляется вызов.

При использовании FDMA несущая полоса пропускания делится на подканалы определенной ширины, каждый из которых одновременно передает свой сигнал. Каждый отдельный канал занимает конечный частотный диапазон, обычно кратный заданной базовой частоте [2].

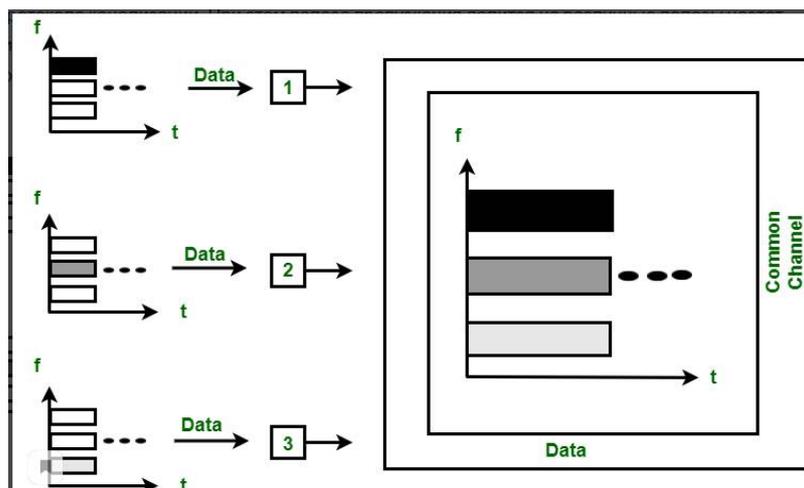


Рис. 1. Распределение частот в FDMA

Любой сигнал всегда можно разложить на составляющие, данное разложение будет называться спектральным. В свою очередь сигналы можно представить в виде диаграмм или графиков. Диаграммы подразделяются на амплитудные и фазовые.

Спектральная диаграмма сигнала представляют собой графическое изображение коэффициентов ряда Фурье рассматриваемого сигнала.

Большое значение в анализе сигнала несет понятие спектра сигнала. Под ним подразумевается совокупность простых составляющих сигнала с определенными амплитудами, частотами и начальными фазами [1].

Важно понимать, что форма сигнала влияет на спектр сигнала. Изменение спектра сигнала приводит к изменению его формы, а также и изменение формы влияет на спектр. В системе передачи сигнал искажается, а значит происходит искажение или преобразование его спектра.

Полосовые фильтры (ПФ) используются в среде беспроводной связи в цепях передатчика и приемника. В секции передатчика этот фильтр пропускает только необходимые частотные составляющие сигнала и уменьшает помехи сигнала от других станций. В секции приемника фильтр не дает проникать нежелательному сигналу в каналы.

На рисунке 2 изображена частичная схема для построения систем передачи с частотным разделением каналов, где АМ – амплитудный модулятор, ПФ – полосовой фильтр. К примеру, рассмотрим спектральные диаграммы в различных точках данной схемы. На вход демодулятора поступает сигнал, спектр которого, например, сосредоточен в полосе от $f_{01} = 96$ кГц до $f_{02} = 468$ кГц, а также граничные частоты первичного модулирующего сигнала, $F_1 = 0.3$ кГц и $F_2 = 3,4$ кГц. НБП является нижней боковой полосой выделяемой фильтром ПФ1, а соответственно ВБП является верхней боковой полосой выделяемой фильтром ПФ2.

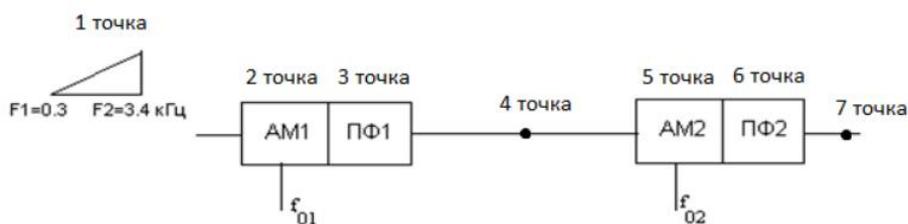


Рис. 2. Частичная схема системы передачи с частотным разделением каналов

Рассмотрим процесс преобразования исходного сигнала в выходной сигнал. Его можно разделить на 7 этапов, которые отмечены соответствующими точками на рисунке 2.

Спектр исходного сигнала изображен на рис.3.а в точки 1 с граничными частотами F_1 , F_2 . Далее исходный сигнал модулируется и в результате переносится в область с несущей частотой равной 96 кГц (рис.3.б), где с помощью полосового фильтра из всех колебаний выделяются только колебания суммарных, разностных и комбинированных частот (рис.3.в). С помощью полосового фильтра из всех колебаний выделяются только колебания суммарных (или разностных) частот, т.е. колебания ВБП (или НБП). В результате спектр сигнала будет противоположен спектру исходного сигнала (рис.4.а) [3].

Далее полученный сигнал модулируем с несущей частотой равной 468 кГц (рис.4.б). Затем с помощью ПФ2 выделяем ВБП (рис.4.в). На завершающем этапе отобразится часть модулированного сигнала, оставшаяся после обработки полосовым фильтром (рис.4.г). Полный этап построение спектральной диаграммы представлен на рисунках 3 и 4.

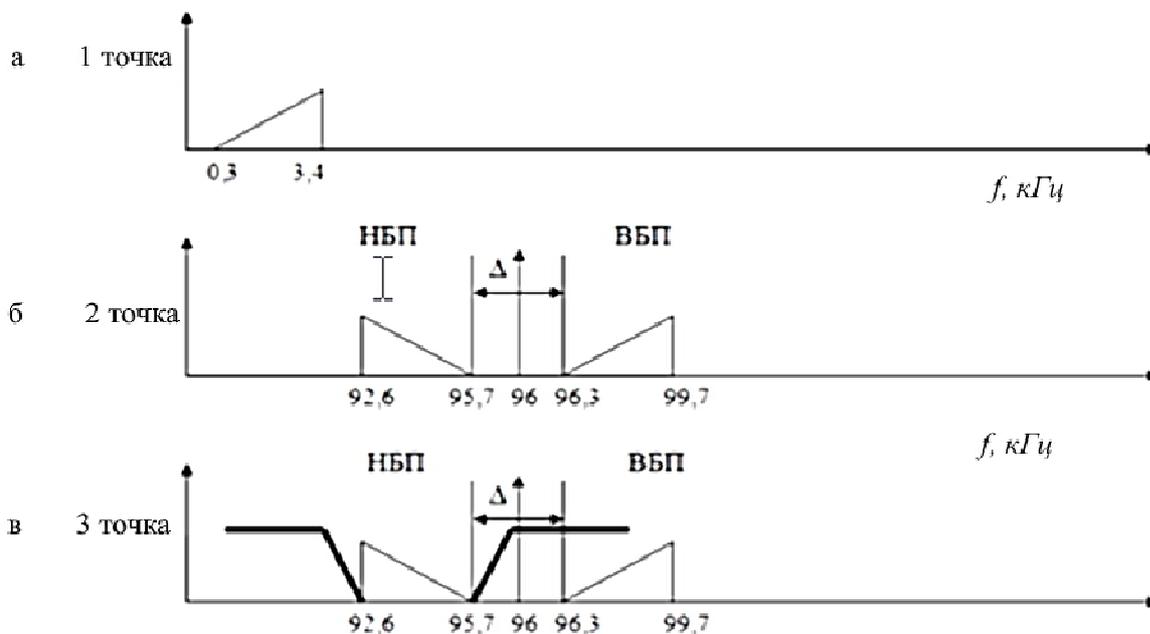


Рис. 3. Построение спектральных диаграмм в точках 1, 2, 3

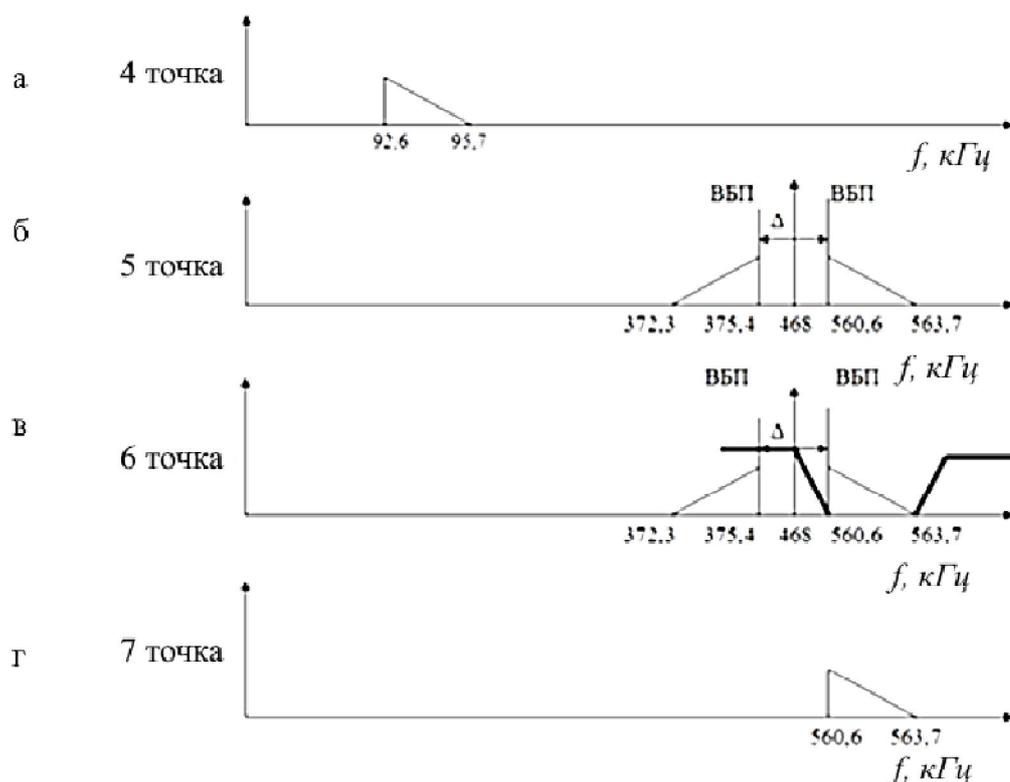


Рис. 4. Построение спектральных диаграмм в точках 4, 5, 6, 7

Важно понимать, что после построения спектральной диаграммы можно определить на основе чего будет реализован полосовой фильтр (на кварцевых резонаторах или LC-элементах). В зависимости от полученного значения относительной полосы расфилтровки можно выбрать тот или иной метод построения ПФ. В нашем случае если относительная полоса расфилтровки меньше 0.02, тогда полосовой фильтр целесообразно реализовать на кварцевых резонаторах иначе на LC-элементах.

Расчёт для полосового фильтра 1:

Полоса расфилтровки ПФ1:

$$\Delta f = 96.3 - 95.7 = 0.6 \text{ кГц.}$$

Относительная полоса расфилтровки ПФ1:

$$\Delta f_{\text{отн}} = \frac{\Delta f}{f_{\text{н}}} = \frac{0.6}{96} = 0.00625 < 0.02.$$

Следовательно, фильтр должен быть реализован на кварцевых резонаторах.

Расчёт для полосового фильтра 2:

Полоса расфилтровки ПФ2:

$$\Delta f = 560.6 - 375.4 = 185.2 \text{ кГц.}$$

Относительная полоса расфилтровки ПФ2:

$$\Delta f_{\text{отн}} = \frac{\Delta f}{f_{\text{н}}} = \frac{185.2}{468} = 0.396 > 0.02.$$

Следовательно, фильтр должен быть реализован на LC-элементах.

Таким образом, в результате анализа спектра сигнала, определив относительные полосы расфилтровки, мы можем рекомендовать тот или иной тип полосового фильтра в системе с FDMA.

Библиографический список

1. Макаренко С.И., Сапожников В.И., Захаренко Г.И., Федосеев В.Е. Системы связи. — Воронеж: Издание ВАИУ, 2011. — 285 с
2. Гитлиц М.В., Лев А.Ю. Теоретические основы многоканальной связи: Учеб. пособие для вузов. - М.: Радио и связь, 1985. - 248 с.
3. Стеценко О. А. Радиотехнические цепи и сигналы / О. А. Стеценко – М.: Высш ШК, 2007. – 432 с.

УДК 67.02

СОЗДАНИЕ СВЕРХГИДРОФОБНЫХ ПОКРЫТИЙ МЕТОДОМ ПЛАЗМЕННОГО НАПЫЛЕНИЯ

А.В. Кочетков, Р.А. Чесноков

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

Аннотация. В обзорной работе рассматриваются супергидрофобные покрытия, основные методы их создания и примеры применения в различных технических областях. Дана краткая характеристика наиболее распространенных способов создания супергидрофобных покрытий. Детально описан процесс плазменного напыления супергидрофобных покрытий.

Ключевые слова: супергидрофобность, покрытия, плазменное напыление.

CREATION OF SUPERHYDROPHOBIC COATINGS BY AIR PLASMA SPRAYING

A.V. Kochetkov, R.A. Chesnokov

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

The summary. The review paper discusses superhydrophobic coatings, the main methods of their creation and examples of applications in various technical fields. A brief description of the most common methods of creating superhydrophobic coatings is given. The process of plasma spraying of superhydrophobic coatings is described in detail.

Keywords: superhydrophobic, coatings, air plasma spraying, APS.

Обледенение, особенно в регионах с холодным климатом, не является чем-то необычным. Ему подвержены самые разнообразные объекты: как природные, так и антропогенные. Зачастую это явление приводит к экономическим потерям из-за нарушения работоспособности техники, что не только отрицательно сказывается на её производительности и долговечности, но и представляет угрозу для жизни человека в технологически сложных и потенциально аварийно-опасных машинах, например, в морских судах, авиации и космических аппаратах.

Одна из главных, но не единственная цель создания супергидрофобных покрытий – борьба с обледенением. В большинстве научных публикаций явление супергидрофобности связывают с так называемым «эффектом лотоса», который выражается в низкой смачиваемости поверхности, и, как следствие, повышенной водоотталкивающей способности (рисунок 1).

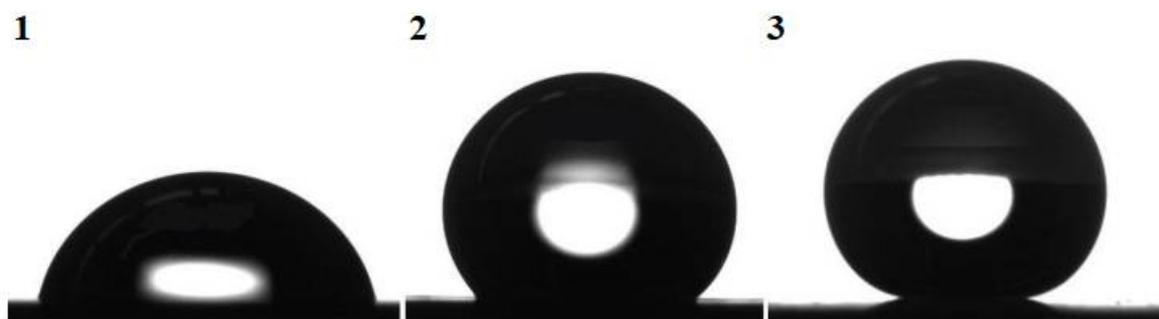


Рис. 1. Капля воды на гидрофильной (1), гидрофобной (2) и супергидрофобной (3) поверхностях

Следует отметить, что ещё 50 лет назад вектор развития противообледенительных систем в авиации был направлен в сторону активных средств, реализующих постоянное или циклическое, механическое, тепловое или физико-химическое удаление льда, а супергидрофобные поверхности рассматривались лишь в качестве возможного дополнения, не претендующего выступать в роли самостоятельного и надежного средства защиты в виду дороговизны и недостаточной механической стойкости [1].

Однако с развитием технологий ситуация изменилась в пользу возрастающих возможностей их применения. Необходимо учитывать, что хоть разработка покрытий, обладающих такими свойствами, и имеет неограниченный потенциал использования в различных областях применения, она представляется чрезвычайно сложной задачей.

И всё же на основе супергидрофобных покрытий создаются антиобледенительные, водоотталкивающие, коррозионно-стойкие и другие функциональные поверхности (таблица 1).

Таблица 1 – Функции супергидрофобных поверхностей

Функция	Механизм действия
Антиобледенение	Снижение сцепления льда с поверхностью
Коррозионная стойкость	Защита от химически агрессивных жидкостей
Самоочистение	Удаление капель жидкости с поверхности вместе с грязью
Контроль смачивания	Обеспечение разного смачивания для жидкости
Разделение жидкостей	Избирательное воздействие на разные жидкости
Уменьшение сопротивления жид-	Снижение сцепления капель с поверхностью
Удаление конденсата	Создание легко удаляющихся капель из конденсата

На сегодняшний день в России и за рубежом успешно запатентованы многочисленные изобретения этой направленности [2].

Методы создания супергидрофобных покрытий

Существует огромное количество способов создания супергидрофобных поверхностей, большая часть которых либо экономически нецелесообразна в силу сложной технологии изготовления, либо требует разработки технологии, модернизации старого или покупки нового оборудования, отсутствующего на уже действующих производствах. Стоит также отметить тот факт, что получаемое покрытие может оказаться слишком хрупким или вовсе не предназначенным для использования в экстремальных погодных условиях, что

несколько ограничивает возможности его применения. Причина заключается в том, что шероховатости, образуемые на поверхности подложки в процессе построения сверхгидрофобного покрытия и являющиеся первопричиной водоотталкивающих свойств, уязвимы к механическим воздействиям и химически агрессивным средам.

Независимо от этого, выбор того или иного метода зависит от эксплуатационных требований. Наиболее популярными и универсальными способами создания сверхгидрофобных покрытий являются: золь-гель технология, напыление, травление, литография (фотолитография, рентгенолитография) и осаждение (химическое из газовой фазы, электрохимическое). Каждый из них имеет свои преимущества и недостатки.

Золь-гель технология является одним из часто используемых методов получения сверхгидрофобных поверхностей. Главное её преимущество заключается в том, что получаемые материалы легко поддаются обработке и могут быть модифицированы для получения различного химического состава покрытия и шероховатости [3].

Травление – простой и эффективный метод получения поверхностей со сверхгидрофобными свойствами, заключающийся в селективном травлении для реализации микро-нано структуры на поверхности подложки. Мокрое травление и сухое травление – два основных способа. При влажном травлении подложку пропитывают или покрывают химическими реагентами (кислота, щелочь и т.д.), и раствор для травления вступает в реакцию с материалом. Сухое травление – процесс, при котором лазер или плазма вступают в реакцию с поверхностью с образованием летучих веществ или непосредственно воздействуют на подложку, вызывая её коррозию [4].

Плазменное напыление сверхгидрофобных покрытий

Газотермическое напыление представляет собой широко распространенный способ создания специальных (износостойких, коррозионностойких, термостойких и др.) покрытий путем нанесения расплавленного материала на подложку (рисунок 2). Кристаллизация и охлаждение капель происходит настолько быстро, что напыляемый материал не разрушает структуру поверхности. В данном случае прочность механического сцепления веществ друг с другом увеличивается за счёт образования сильной химической связи между материалами в условиях высоких температур.

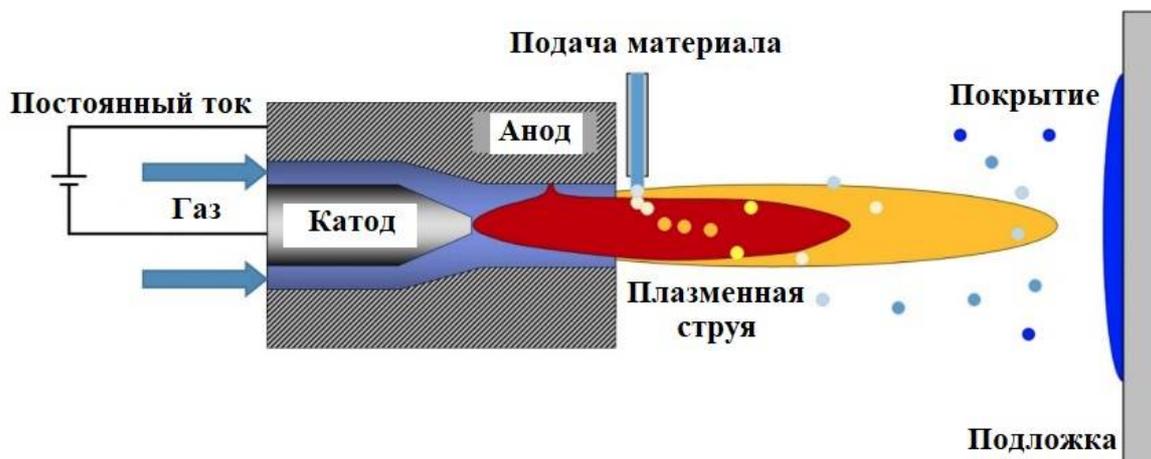


Рис. 2. Схема плазменного напыления

Среди всех видов газотермического напыления плазменное является наиболее приемлемым методом нанесения сверхгидрофобных покрытий в промышленных масштабах

в аэрокосмической, морской, биомедицинской и автомобильной отраслях благодаря его относительно низкой стоимости, распространенности, способности работать в открытой атмосфере и покрывать сложные детали, а также возможности формировать тонкопленочные соединения (рис. 3).



Рис. 3. Мировой объем рынка методов газотермического напыления на 2021 год

Процесс плазменного напыления достаточно сложен и результат зависит от многих факторов, однако его математическое моделирование предполагает собой расчёт всего нескольких чрезвычайно важных показателей (рисунок 4).



Рис. 4. Этапы процесса плазменного напыления

Среди них электрическая мощность источника питания, подводимая к плазмотрону, расход плазмообразующего газа, его состав и свойства, удельная энтальпия, температура и скорость плазменной струи и частиц наносимого материала. Взаимосвязь перечисленных параметров непосредственно влияет на свойства получаемого покрытия. При помощи изменения силы тока контролируется ключевая характеристика – энтальпия, от которой зависят основные скорости и температуры процесса:

$$H_{уд} = \frac{(I * U - G_B * c_B * \Delta T_B)}{(G_1 + G_2)}$$

Здесь G_B , c_B , ΔT_B – расход, теплоемкость и изменение температуры охлаждающей жидкости соответственно.

Немалую роль в достижении конкретных свойств получаемого покрытия играет выбор напыляемого материала. Для создания сверхгидрофобных покрытий зачастую используются как оксиды, так и металлы, сравнительная характеристика эффективности которых приведена в таблице 2.

Таблица 2 – Сравнительная характеристика некоторых порошковых материалов при создании супергидрофобных покрытий

Материал	Угол контакта, °	Угол скатывания, °
CeO ₂	151	6
ZnO	156	7
Al ₂ O ₃ + WO ₃	157	7
Yb ₂ O ₃	160	7
NiTi (55-45)	165	8
TiO ₂	170	2

Важным преимуществом этого метода построения супергидрофобных поверхностей является продолжительность сохранения водоотталкивающих, механических, физических и химических свойств покрытий. Защита от жидкостей в зависимости от условий эксплуатации обеспечивается на срок от 30 и более дней, что позволяет использовать такие материалы в тех климатических условиях, где необходима сезонная борьба с обледенением [5].

Наше предложение – использовать супергидрофобные покрытия на основе диоксида титана в совокупности с другими противообледенительными системами. Комбинация таких средств должна обеспечить снижение рисков критического обледенения на наиболее уязвимых элементах конструкций машин.

Библиографический список

1. Противообледенительные системы летательных аппаратов / Р.Х. Тенишев [и др.] – Москва: Машиностроение, 1967. – С. 43-47.
2. Патент №2486295 Российская Федерация, МПК C25D 11/34 (2006.01). Способ получения защитных супергидрофобных покрытий на стали : № 2012107281/02 : заявлен 28.02.2012 : опубликован 27.06.2013 / Гнеденков С.В., Бойнович Л.Б., Хрисанфова О.А., Синебрюхов С.Л., Емельяненко А.М., Завидная А.Г., Егоркин В.С. ; заявитель ИХ ДВО РАН.
3. F Qitao. Sol-gel derived icephobic coatings for large outdoor structures // Doctoral thesis, Nanyang Technological University, Singapore, 2016. – pp. 53-55.
4. Swain B., Pati R.A., Mallick P., Mohapatra S.S., Behera A. Development of Highly Durable Superhydrophobic Coatings by One-Step Plasma Spray Methodology // J Therm Spray Tech, 2021. – pp. 405-406.
5. Shangjie Ge-Zhang, Hong Yang, Haiming Ni, Hongbo Mu, Mingming Zhang. Biomimetic superhydrophobic metal/nonmetal surface manufactured by etching methods: A mini review // Frontiers in Bioengineering and Biotechnology, 2022. – pp. 5-7.

УДК 004.75; ГРНТИ 50.41.23

ВОПРОСЫ ПОСТРОЕНИЯ РАСПРЕДЕЛЕННЫХ ИНФОРМАЦИОННЫХ СИСТЕМ ДЛЯ ОБРАБОТКИ АЭРОКОСМИЧЕСКИХ ДАННЫХ

А.А. Аксенов

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

Аннотация. В работе рассматриваются вопросы построения и применения распределённых информационных систем для задач обработки аэрокосмических изображений.

Ключевые слова: распределённые информационные системы, аэрокосмические изображения, спутниковые снимки, языки программирования, программное обеспечение.

ISSUES OF BUILDING DISTRIBUTED INFORMATION SYSTEMS FOR AEROSPACE DATA PROCESSING

A.A. Aksenov

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

The summary. The paper discusses the construction and application of distributed information systems for the tasks of processing aerospace images.

Keywords: distributed information systems, aerospace images, satellite images, programming languages, software.

Введение

Распределённые информационные системы широко используются во всех отраслях, как в больших компаниях, так и в малых, так как при помощи их можно собирать нужную информацию, обрабатывать и хранить ее [1]. При помощи распределения информационных систем, мы получаем доступ информации на разных серверах, а также одновременный поиск и обработку по средствам распределения, что существенно ускоряет эти процессы [2]. Распределённые информационные системы являются легко интегрируемыми интерфейсами. В наше время в связи быстрым ростом городов, особенно больших мегаполисов, нужно вести контроль за ними [3]. Наиболее эффективным способом является дистанционное зондирование Земли (ДЗЗ), то есть получение аэрокосмических изображений со спутников для эффективного управления городом.

Существующие решения

Дистанционное зондирование Земли – это метод наблюдения земной поверхности из космоса с помощью спутников (космических аппаратов) или с воздуха с помощью летательных аппаратов (воздушных судов).

Технология ДЗЗ применяется в различных сферах, включая метеорологию, геологию, экологию, гидрологию, геодезию, океанографию, географию, а также в коммерческих, военных, экономических и гуманитарных дисциплинах [4].

Рассмотрим примеры ДЗЗ [5]:

- геоинформационная система (ГИС), предназначенная для сбора, хранения, обработки, анализа и визуализации географической и/или пространственной информации;
- доплеровский радар получает метеорологические данные (скорость и направление ветра, интенсивность и местоположение осадков и др.);
- стереографические пары аэрокосмических изображений применяются для моделирования особенностей изучаемой среды и составления топографических карт, выделения рельефа местности;
- спутники ДЗЗ предоставляют разновременные изображения для выявления

изменений на исследуемых территориях;

– информация с лазерных и радиолокационных высотомеров, гидролокаторов и ультразвуковых приборов применяются для картирования прибрежных районов и управления ресурсами океана;

– аэрокосмические изображения успешно применяются в картографировании, землепользовании, сельском хозяйстве, лесном хозяйстве, городском управлении, археологических исследованиях, дистанционном мониторинге природной среды и т.д.

Распределённая информационная система использует средства некоторого количества вычислительных узлов для ускоренного достижения поставленных задач. Распределённые системы основываются на обособленных друг от друга узлах. Данные узлы обмениваются информацией и исполняют синхронизацию в целой сети. В основном узел представляется в виде отдельных физических аппаратных устройств, также они бывают и отдельными программными процессорами или другими рекурсивными инкапсулированными системами [6]. Распределённые системы предназначены для устранения мелких мест и одинаковых точек сбоя систем.

Основные параметры распределённых систем:

- одновременное использование данных;
- параллельное вычисление;
- масштабируемость;
- нахождение ошибок;
- прозрачность.

Среда разработки для реализации данной задачи

Для разработки программного обеспечения для распределённых информационных систем выявлены требования к среде разработки [7, 8]:

- скорость обработки данных;
- кроссплатформенность, т.е. возможность перенести разработку с одной операционной системы на другую;
- универсальность, т.е. поддержка множества стилей программирования (процедурное, объектно-ориентированное).

Программное обеспечение

В настоящее время насчитывается множество программного обеспечения, при помощи которого можно обрабатывать аэрокосмические изображения. Одним из самых популярных программных комплексов является «ENVI» от компании «RSI» (США), позволяющий визуализировать и обрабатывать ДЗЗ. Имеет возможность настройки для каждого пользователя индивидуально при помощи программной среды IDL, поддерживает множество удобных функций для обработки и анализа аэрокосмических снимков.

Заключение

В работе были рассмотрены проблемы проектирования распределённых информационных систем, основные существующие решения и программное обеспечение, а также требования к среде разработки нового программного обеспечения для распределённых информационных систем, предназначенных для обработки данных ДЗЗ.

Биографический список

1. Тель Ж. Введение в распределенные алгоритмы. Пер. с англ. – М.: МЦНМО, 2009. – 616 с.
2. М.С. Косяков Введение в распределённые вычисления. – СПб: НИУ ИТМО, 2014. – 155 с.
3. Таненбаум Э., ван Стеен М. Распределенные системы. Принципы и парадигмы. – СПб: Питер, 2003. – 877 с.: ил.
4. Курагин, А. В. Обзор перспективных методов обработки данных наблюдения земли / А. В. Курагин, А. Н. Колесенков // XXIV Туполевские чтения (школа молодых ученых) : Материалы Международной молодежной научной конференции. В 6-ти томах, Казань, 07–08 ноября 2019 года. Том IV. – Казань: ИП Сагиева А.Р., 2019. – С. 111-114. – EDN SJQADA.
5. Володина, Ю. Ю. Построение кросс-платформенной базы географических данных с применением универсальных форматов / Ю. Ю. Володина, С. И. Бабаев, А. Н. Колесенков // Оптимизация и моделирование в автоматизированных системах: Труды международной молодежной научной школы, Воронеж, 25–26 октября 2018 года. – Воронеж: Воронежский государственный технический университет, 2018. – С. 119-122. – EDN MIPFXV.
6. Топорков В. В. Модели распределенных вычислений. – М.: Физматлит, 2004. – 320 с.
7. Алпатов А. Н. Цветков В. Я. Проблемы распределенных систем // Перспективы науки и образования. – 2014. – по. 6 (12).
8. Радченко Г.И. Распределенные вычислительные системы / Г.И. Радченко. – Челябинск : Фотохудожник, 2012. – 184 с.

УДК 004.932

ОСОБЕННОСТИ АВТОРСКОГО НАДЗОРА ПРОГРАММНОГО ОБЕСПЕЧЕНИЯ ОБРАБОТКИ ДАННЫХ КА «АРКТИКА-М»

Н.А. Егошкин, А.Э. Москвитин, А.В. Соловьев

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

Аннотация. В работе производится анализ возможности создания инструментальных средств, позволяющих выполнять авторский надзор программного обеспечения обработки данных от космического аппарата «Арктика-М». Приводится список задач, решение которых позволит создать инструментарий для достижения поставленной цели. Обосновывается возможное решение.

Ключевые слова: авторский надзор, дистанционное зондирование Земли, высокоуровневая обработка спутниковых снимков, контроль функционирования программных средств.

ARKTIKA-M SPACECRAFT DATA PROCESSING SOFTWARE AUTHOR'S SUPERVISION FEATURES

N.A. Egoshkin, A.E. Moskvitin, A.V. Solovyev

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

The summary. The paper analyzes the possibility of creating tools that allow to do author's supervision of Arktika-M spacecraft data processing software. A list of tasks is given, the solution of which will allow creating a toolkit to achieve the goal. A possible solution is justified.

Keywords: author's control, Earth remote sensing, high level satellite image processing, software operation control

Гидрометеорологический комплекс «Арктика-М», запущенный в 2021 году, успешно функционирует на высокоэллиптической орбите Земли более двух лет. Космическая система «Арктика-М» предназначена для мониторинга климатической ситуации и решения широкого спектра метеорологических задач в северной части Российской Федерации и арктическом регионе Земли.

Для обеспечения успешного выполнения задач, поставленных перед космическим аппаратом, необходимо бесперебойное функционирование не только самого спутника, но и

центров наземной обработки данных. В таких центрах осуществляется непрерывная круглосуточная обработка данных дистанционного зондирования Земли (ДЗЗ), поступающих с интервалом 15 минут.

На базе радиотехнического университета разработано специальное программное обеспечение формирования стандартных информационных продуктов по данным космического аппарата «Арктика-М», функционирующее в центрах приема данных Научно-исследовательского центра «Планета». Программное обеспечение работает с момента запуска гидрометеорологического спутника непрерывно и осуществляет обработку данных в режиме времени, близком к реальному.

За два года программное обеспечение продемонстрировало высокие показатели надежности и отказоустойчивости. Тем не менее, возникает задача периодического контроля качества работы и надежности разработанного программного обеспечения.

В настоящей работе описываются особенности авторского надзора, проводимого с целью периодического контроля правильности и качества функционирования программного обеспечения разработки РГРТУ.

Постановка задачи

Программное обеспечение наземной обработки данных от космического аппарата «Арктика-М» осуществляет формирование видеоданных уровней обработки 1.0 и 1.5.

Уровень обработки 1.0 подразумевает распаковку, декодирование принимаемого потока данных, его разделение на видеоинформацию и служебную информацию, представление данных в нужных форматах и прочие первичные мероприятия, создающие условия для дальнейшей обработки получаемого информационного потока.

Уровень обработки 1.5 подразумевает выполнение геопривязки, а также коррекцию возможных искажений, обусловленных конструктивными особенностями космического аппарата и съемочной аппаратуры[1,2].

Гидрометеорологический комплекс «Арктика-М» осуществляет съемку Земли в трех диапазонах видимого спектра и семи зонах инфракрасного диапазона спектра электромагнитных волн. Результатом обработки каждого сеанса съемки является формирование набора файлов, содержащих выходные продукты уровней 1.0 и 1.5 отдельно. Эти файлы можно открыть только специализированным программным обеспечением, что накладывает существенные ограничения на возможность осуществления контроля правильности функционирования программных средств.

Осуществляя визуальный контроль как процесса обработки, так и сформированных выходных продуктов, можно оперативно сделать вывод о правильности работы программных средств за длительный период. Из вышеуказанного следует необходимость создания инструментария, позволяющего осуществлять просмотр хранилища исходных и обработанных данных, а также визуализацию хода процесса обработки.

Предлагаемые решения

Для визуального наблюдения за процессом обработки видеоданных целесообразно применить циклограмму. Под циклограммой можно понимать временную диаграмму процесса обработки, на которой видны все действия, производимые в рамках обработки снимка в каждом участке спектра. Пример циклограммы приведен на рисунке 1. С помощью данного программного инструмента удобно оценивать время, ушедшее на выполнение каждого действия и долю этого времени в общем объеме.

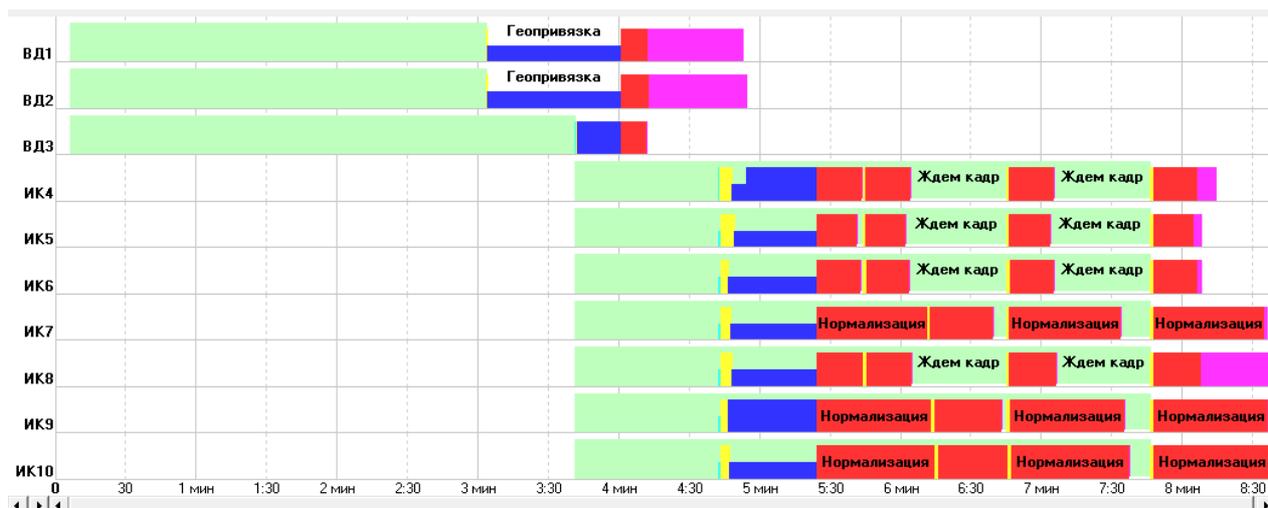


Рис. 1. Пример циклограммы обработки сеанса

Для быстрой визуальной оценки содержания выходных продуктов формируются так называемые «квиклуки» для последующего просмотра. Под «квиклуком» (Quick Look, рус. быстрый просмотр) понимается дубликат выходного информационного продукта, сохраненный в низком разрешении и в распространенном формате, для быстрого и удобного последующего открытия. С применением «квиклуков» оператору не требуется прибегать к специализированным средствам для открытия и отображения снимков уровней обработки 1.0 и 1.5. Пример квиулуков приведен на рисунке 2.

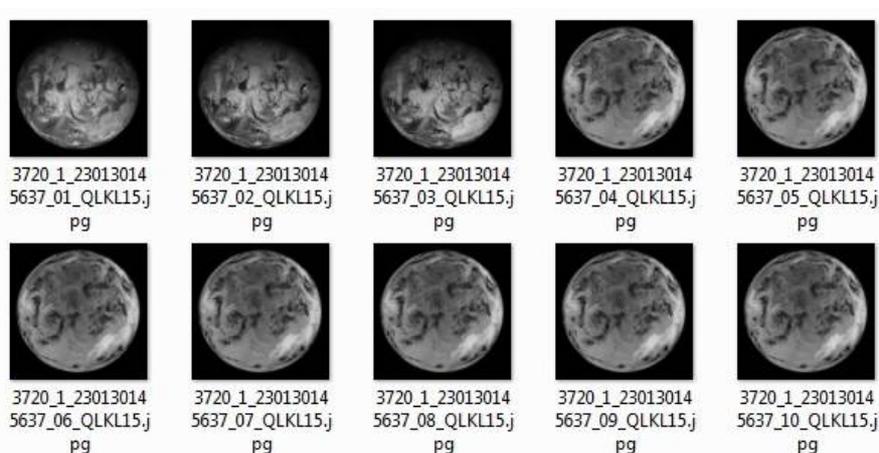


Рис. 2. Пример сформированных квиклуков

Однако нормализованных изображений низкого разрешения не всегда достаточно для адекватной визуальной оценки качества выходных информационных продуктов. Поэтому в инструментарий для контроля функционирования средств обработки данных ДЗЗ целесообразно включить возможность открытия непосредственно выходных изображений в специфическом формате. Файл, сформированный в результате обработки уровня 1.5, представляет собой одноканальное (черно-белое) изображение, каждый пиксель которого занимает 10 бит, что позволяет хранить 1024 градации серого. Пример такого изображения приведен на рисунке 3.



Рис. 3. Пример сформированного изображения уровня 1.5

Помимо собственно изображений интерес для контроля представляет также информация о параметрах работы спутника и съёмочной аппаратуры. Эта информация по мере наземной обработки извлекается из изображений и другой сопроводительной информации и «бережно» накапливается и архивируется для дальнейшего анализа. Разработан инструментарий для отображения этой информации в виде графиков, например, в виде зависимостей от времени, на которых одна точка соответствует одному сеансу съёмки (рисунок 4).

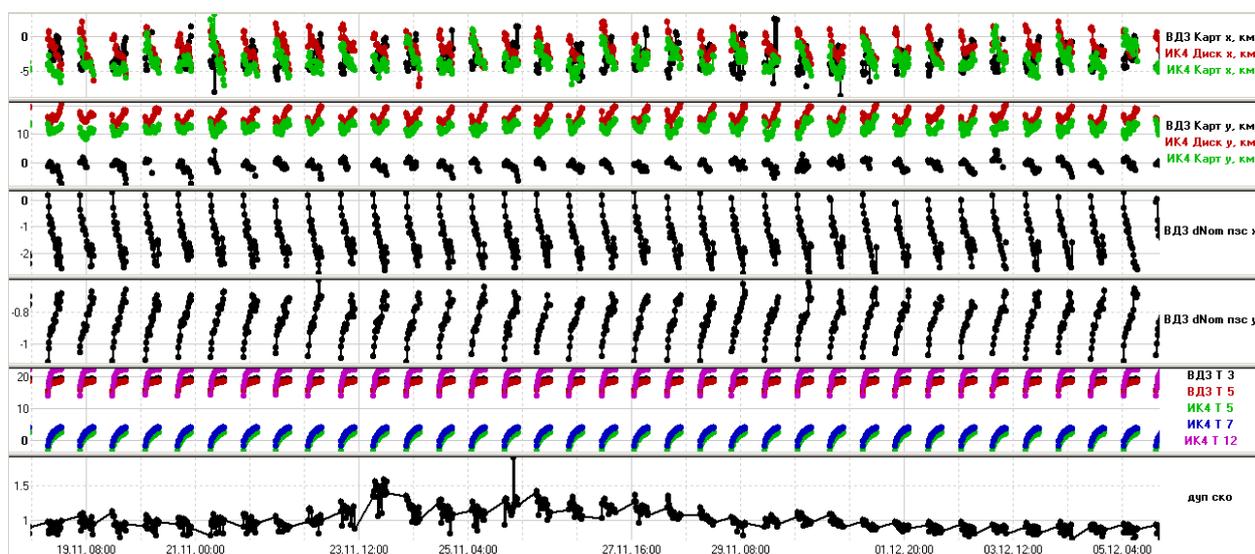


Рис. 4. Эволюция контролируемых параметров во времени

Контролируется следующий базовый набор параметров. Значения поправок к геопривязке по ИСО, которые оцениваются в процессе уточнения геопривязки по контурным точкам диска земли [3] и электронным картам [4], позволяют контролировать эволюцию поправок во времени (суточно-периодическую и вековую составляющую). Это дает возможность видеть нюансы работы системы навигации спутника и эволюцию конструктивного угла. Аномалии на графиках (например, резкие выбросы и нехарактерные изменения) свидетельствуют о необходимости более детально проанализировать изображения, что незамедлительно проводится.

Контролируются поправки к параметрам совмещения ПЗС-линеек и температуры съёмочной аппаратуры в различных контрольных точках. В частности легко видеть связь

между поправками и температурами, которая особо ярко стала проявляться после перехода периодичности съёмки с 30 на 15 минут, заметно ухудшившего термостабильность.

Анализируется работа приводов сканирующих зеркал и находятся численные оценки случайных флуктуаций [5]. Высокий уровень флуктуаций снижает качество изображений и требует специальной дополнительной обработки.

Оценивается целостность и полнота исходной информации от станции космической связи как на уровне абстрактных пакетов от бортовой системы сбора и обработки данных, так и по количеству успешно принятых строк изображений и полноте навигационной информации (количество сообщений борта и их соответствие данным съёмки).

Дополнительно оценивается геометрическое рассогласование между спектральными каналами. Это несколько повышает время обработки, однако даёт крайне важную информацию для изучения суточно-периодического и векового изменения рассогласований. Так было обнаружено постепенное расхождение каналов со временем. В настоящее время выход рассогласований за проектные значения является сигналом для перекалибровки параметров совмещения каналов в комплексе нормализации. Для этого помимо обобщенных оценок точности совмещения накапливаются массивы одноименных точек.

Одним из способов контроля функционирования программных средств является сравнение результатов работы с другими средствами аналогичного назначения. Одним из таких средств является метеорологический спутник «Meteosat», эксплуатируемый Европейским космическим агентством. Космический аппарат, функционирующий на геостационарной орбите Земли, предназначен для ведения съёмки в экваториальном районе над Африкой. Существуют области земной поверхности, наблюдаемые как системой «Арктика-М», так и спутником «Meteosat». Этот факт позволяет выполнить сравнение обработанных видеоданных, полученных в одно и то же время обоими спутниками, и на основе меры их схожести сделать вывод о правильности функционирования наших программных средств.

Дополнительный контроль за качеством обработки спутниковых данных обеспечивает служебная информация, получаемая с космических аппаратов. Она включает в себя оперативно-контрольную информацию (ОКИ), информацию сопровождения (ИСО) и выделенную гелиогеографическую информацию (ВГГИ). В процессе обработки сеанса вся перечисленная служебная информация должна отделяться от видеоданных и сохраняться в памяти компьютера с возможностью её последующего открытия и отображения. Пример отображения ИСО приведен на рисунке 4.

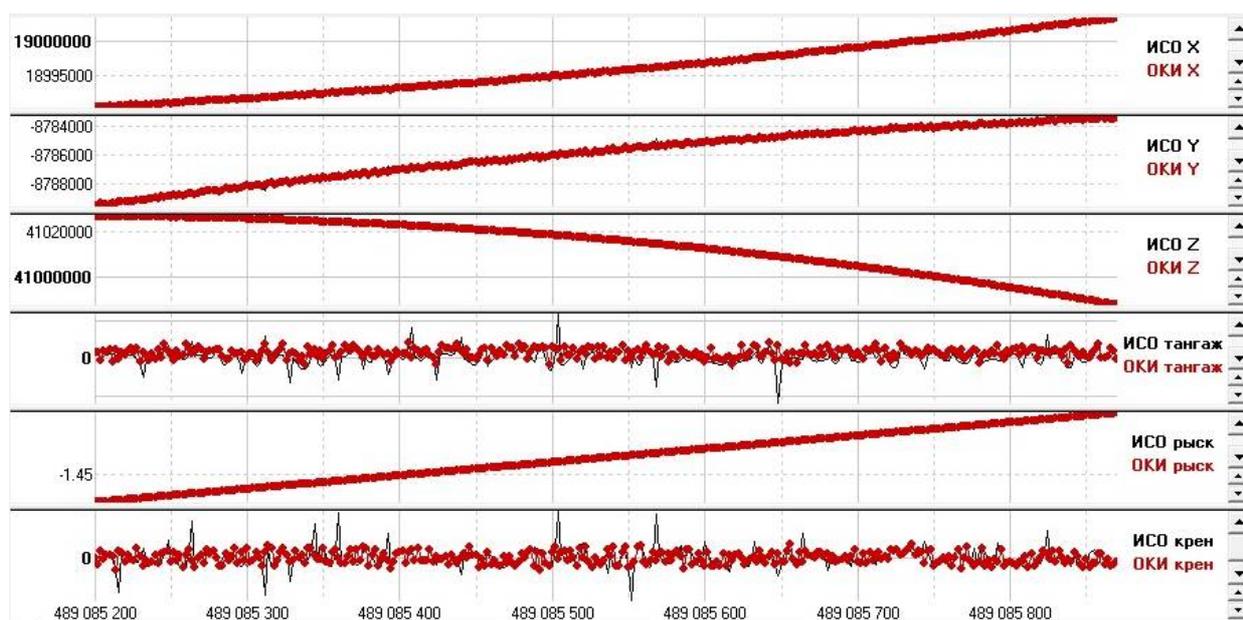


Рис. 4. Пример отображения ИСО

Реализация

Так как хранилище данных носит накопительный характер, то необходимо предусмотреть средства поиска нужной информации в хранилище. Удобнее всего выполнять поиск нужных данных по дате съемки и сброса сеанса.

Все перечисленные задачи можно решить разработкой приложения с графическим пользовательским интерфейсом на высокоуровневом компилируемом языке программирования. Такой вариант решения позволяет обеспечить высокую производительность и удобство использования разрабатываемого инструмента, но накладывает ограничения на круг технических средств, применимых для осуществления мониторинга за программными средствами обработки данных ДЗЗ, ограничивая его платформой, под которую средство разработано.

Более предпочтительным вариантом решения описанных задач является разработка приложения на интерпретируемом языке программирования с web-интерфейсом. Такое решение позволит осуществлять поставленные задачи сразу с нескольких устройств, имеющих в своем составе web-браузер, без необходимости установки какого-либо программного обеспечения. Интерпретируемый язык программирования позволяет запустить программный код на компьютере с любой операционной системой.

Язык программирования Python подходит для решения данной задачи по следующим причинам. Во-первых, язык предоставляет широкий спектр возможностей для текстового, табличного и графического представления данных, что в рассматриваемой задаче играет ключевую роль. Во-вторых, язык имеет встроенную поддержку асинхронного выполнения кода, что крайне полезно при разработке web-приложений, предусматривающих возможность одновременного использования несколькими операторами. В-третьих, характерной чертой языка программирования Python является высокая гибкость и применимость в любом проекте. Языку также свойственна простота освоения и применения, а характерной особенностью получаемого кода является его читаемость и расширяемость.

Для быстрого и удобного развертывания веб-приложения можно использовать специальные программные средства, предназначенные для автоматизации развертывания и управления приложениями. Одним из таких средств является программная платформа Docker с открытым исходным кодом, предоставляющая возможности автоматизированной контейнеризации и развертывания для последующей эксплуатации разрабатываемых приложений.

Выводы

Разработав ряд программных средств автоматизации, можно создать инструментарий, позволяющий с высокой мерой адекватности осуществлять оперативную оценку правильности работы программных средств, обрабатывающих данные ДЗЗ.

Библиографический список

1. Современные технологии обработки данных дистанционного зондирования Земли / под ред. В.В. Еремеева. М.: ФИЗМАТЛИТ, 2015. 460 с.
2. Егошкин Н.А., Еремеев В.В., Москвитин А.Э., Ушенкин В.А. Обработка информации от современных космических систем радиолокационного наблюдения Земли – Москва: Издательство ФИЗМАТЛИТ, 2019.
3. Егошкин Н.А., Еремеев В.В., Москвитин А.Э. Координатная привязка изображений от геостационарных спутников по контурным точкам диска Земли // Вестник РГРТУ. 2007. №22. С. 10-16.
4. Воронин А.А., Егошкин Н.А., Еремеев В.В., Москвитин И.В. Геометрическая обработка данных космических систем глобального наблюдения Земли // Вестник РГРТУ. 2009. №1 (выпуск 27). С. 12-17.
5. Егошкин Н.А., Москвитин А.Э. Повышение точности коррекции изображений на основе фильтрации измерений углового положения сканирующего зеркала // Вестник РГРТУ. 2010. №3 (выпуск 33). С. 7-11.

УДК 621.396; ГРНТИ 47.47

ЕМ-МОДЕЛИРОВАНИЕ И ИССЛЕДОВАНИЕ ФУНКЦИОНАЛЬНЫХ УСТРОЙСТВ В СИСТЕМЕ SONNET LITE

Е.П. Васильев, Н.В. Климчук

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

Аннотация. В работе рассматриваются технология электродинамического моделирования микроволновых функциональных устройств (МФУ) в системе Sonnet Lite. Приводятся основные этапы решения проектных задач и пример проектирования микрополоскового полосового фильтра.

Ключевые слова: ЕМ-моделирование, полосовой фильтр, метод конечных элементов.

EM MODELING AND EXPLORATION OF FUNCTIONAL DEVICES IN THE SONNET LITE SYSTEM

E.P. Vasilyev, N.V. Klimchuk

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

Annotation. The paper discusses the main features of the Sonnet Lite design environment. The main stages of simulation of microwave devices are given.

Keywords: EM-simulation, band-pass filter, CAD, finite element method.

Sonnet Lite – это современное программное обеспечение с мощным математическим аппаратом, предназначенное для высокочастотного электромагнитного анализа планарных структур.

Программный пакет Sonnet Lite позволяет проводить электромагнитное моделирование планарных СВЧ-структур, в том числе вертикальных микрополосковых линий, узкополосных и широкополосных копланарных волноводов (FGCPW), полосковых/микрополосковых линий, антенн, а также однослойных и многослойных печатных плат. Утилита подойдет для работы с монолитными СВЧ интегральными схемами (MMIC, RFIC) и печатными платами, многослойными платами из низкотемпературной керамики (LTCC) и фильтрами на сверхпроводниках, а также простой проверки целостности сигналов.

В Sonnet Lite реализуется точный анализ, основанный на методе моментов (MoM), который учитывает все возможные физические воздействия, например влияние корпуса, резонансы или паразитные связи. Подобное моделирование позволяет получать результаты с точностью до 1% (дополнительные настройки позволяют достичь точности в 0.1%). Технология Adaptive Band Synthesis, основывающаяся на сокращении числа точек анализа, в сотни раз ускоряет процесс моделирования в выбранных диапазонах частот без снижения точности. Поддерживается произвольное комбинирование диэлектрических и металлических слоев из разных материалов. Кроме этого, учитывается присутствие навесных элементов, которые могут быть описаны идеальными моделями, моделями от производителей или полученными в ходе исследований реальных компонентов наборами S-параметров. Для более эффективного моделирования на краях микрополосковых линий автоматически формируется особая сетка, учитывающая влияние краевых токов и повышающая точность результатов. В Sonnet Suite имеется возможность интерпретировать внешние списки связей навесных схем. А вместе с опциями учета допусков на точность изготовления и номиналов элементов существует способ проводить статистический анализ процента выхода пригодных изделий.

Программный пакет имеет все необходимое для быстрого освоения – удобное рабочее меню, самоучители, подробные пользовательские руководства, обширные библиотеки примеров и контекстную справку. При помощи специально созданных интерфейсов данная утилита обладает способностью встраиваться в большинство известных систем разработки СВЧ-устройств (Cadence Virtuoso, Advanced Design System, AWR Microwave Office). Обмен дан-

ными при этом происходит автоматически, а пользователь продолжает работать в привычной для него среде. Кроме этого, поддерживаются форматы GDSII и DXF.

EM-моделирование микроволновых устройств в среде Sonnet Lite

Рассмотрим основные этапы EM-моделирования микроволновых устройств, которые представлены на структурной схеме (рис. 1).

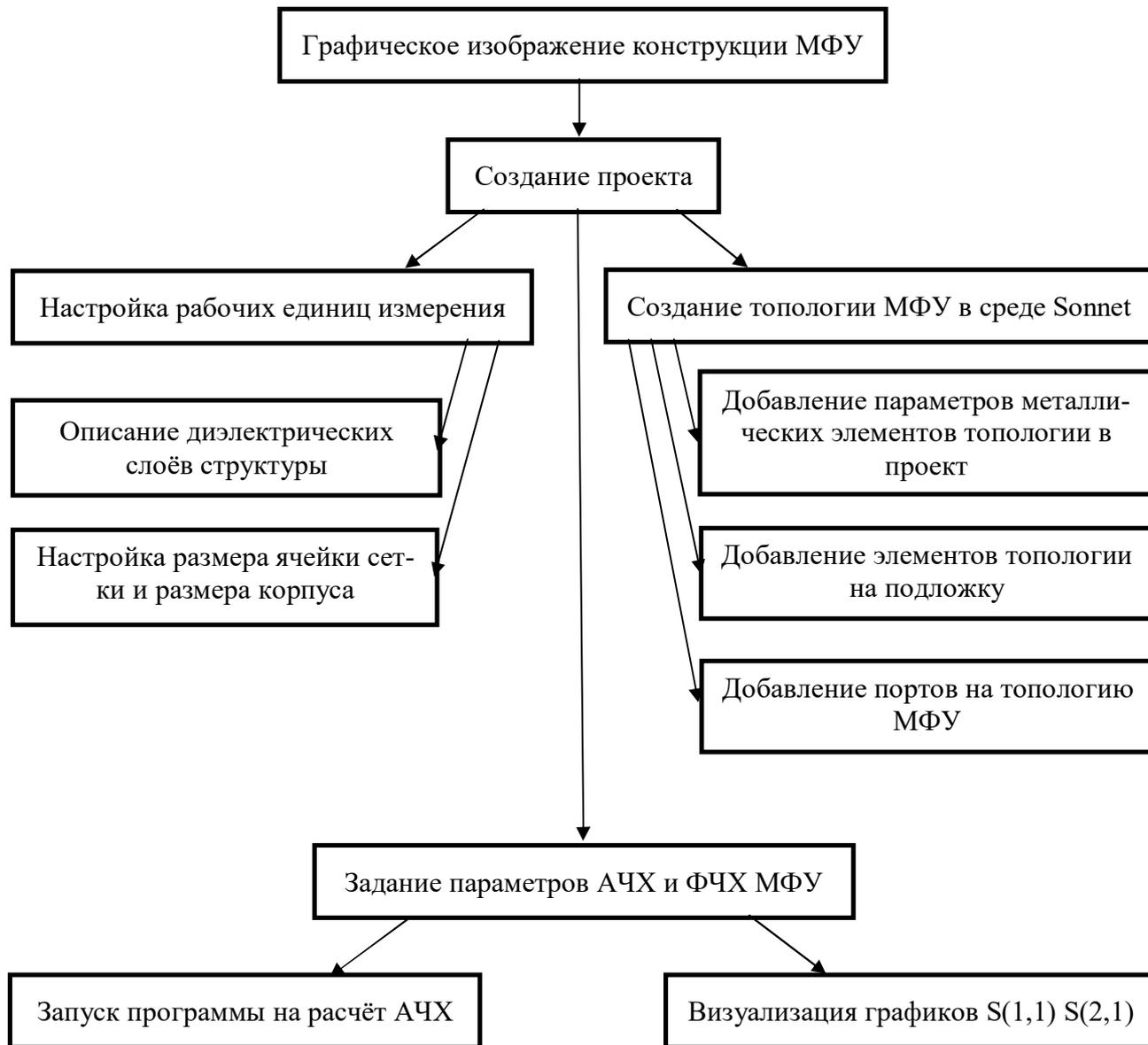


Рис. 1. Основные этапы EM-моделирования

Таким образом методика EM-моделирования МФУ в среде Sonnet реализуется по схеме:

1. *Графическое изображение конструкции МФУ.* Подразумевает получение эскиза конструкции с предварительным расчетом в первом приближении всех конструктивных размеров с учетом электрофизических параметров элементов.

2. *Описание диэлектрических слоёв структуры.* Указывается относительная диэлектрическая проницаемость, толщина, тангенс угла диэлектрических потерь всех диэлектрических слоёв.
3. *Настройка размера ячейки сетки и размера корпуса.* Прямоугольная сетка накладывается на топологию устройства, при этом в программе указывается размер ячейки по оси x и y . Размеры прямоугольного корпуса указываются по координатам x , y и z .
4. *Добавление параметров металлических элементов топологии в проект.* Указываются параметры металлических слоёв (материал и параметры проводящих слоёв).
5. *Добавление элементов топологии на подложку.* Графическое изображение с использованием инструментов Sonnet слоёв металлизации в соответствии с рассчитанными размерами.
6. *Добавление портов на топологию МФУ.* Перенос портов с использованием инструментов Sonnet на входы и выходы МФУ.
7. *Задание параметров АЧХ и ФЧХ МФУ.* Установка частотного диапазона и шага изменения частоты, установка S-параметров (S_{11} – коэффициент отражения, S_{12} – коэффициент передачи и т.д.).

Экспериментальные исследования

С целью проверки методики ЕМ-моделирования рассчитаны основные характеристики полосового фильтра (ПФ) на связанных микрополосковых линиях. Топология ПФ и 3D конструкция представлены на рисунке 2 и рисунке 3.

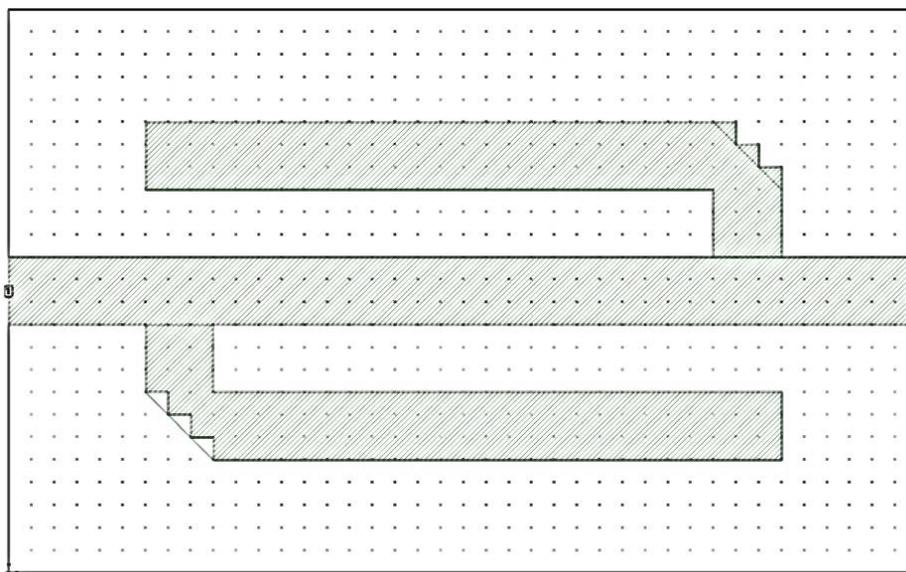


Рис. 2. Топология полосового фильтра

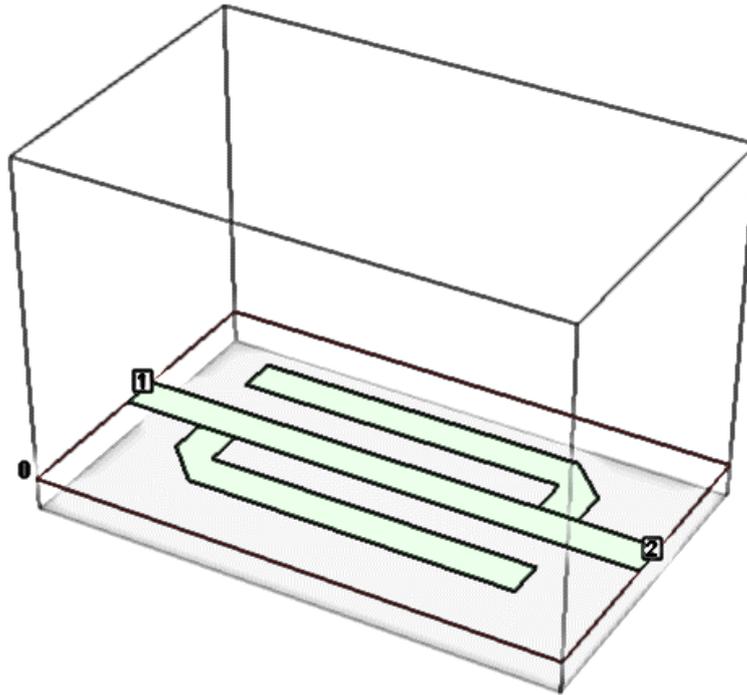


Рис. 3. 3D модель полосового фильтра

Параметры подложки ПФ следующие: толщина 0,5 мм, относительная диэлектрическая проницаемость 9,9, тангенс угла диэлектрических потерь 10^{-4} .

Параметры АЧХ на центральной частоте 5,2 ГГц: коэффициент передачи -0,15 дБ, коэффициент отражения -30дБ, ширина полосы пропускания по уровню 1 дБ 2 ГГц (рис. 4).

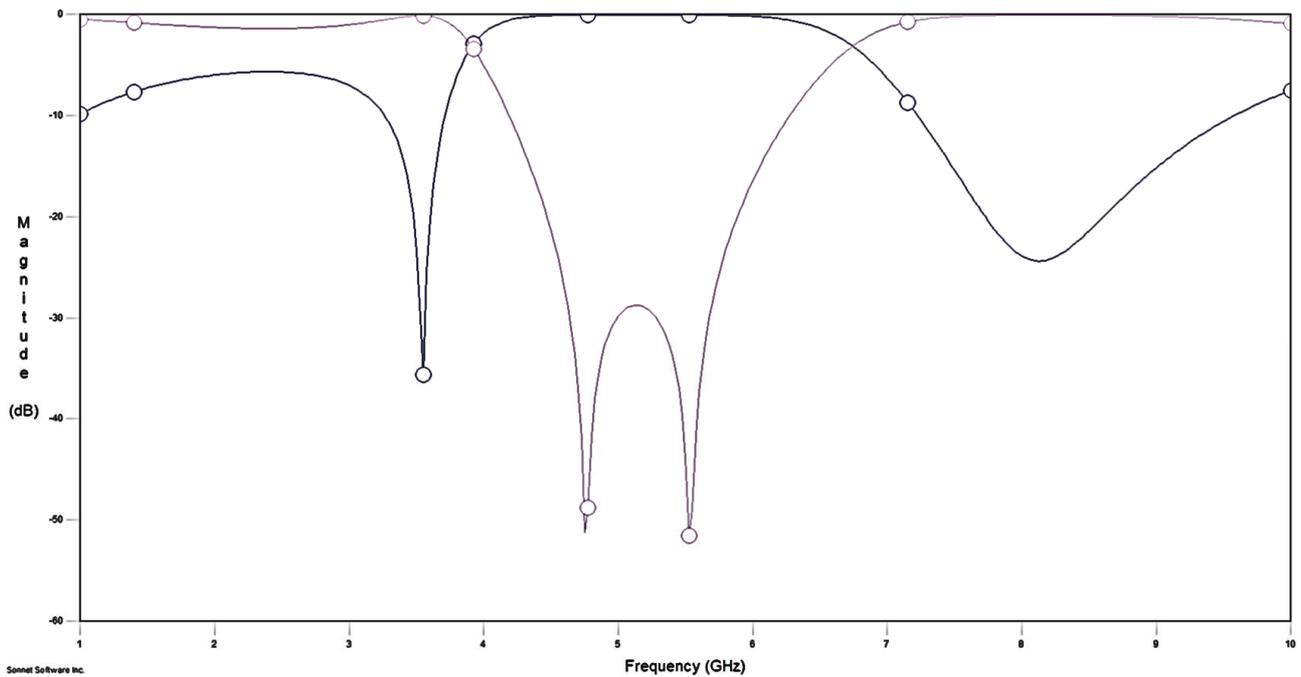


Рис. 4. График зависимости параметра S11 (dB) и параметра S21 (dB) от частоты (GHz)

В заключении отметим, что результаты моделирования в среде Sonnet Lite полосового фильтра в S-диапазоне полностью отвечают требованиям технического задания, что подтверждает адекватность предложенной методики.

Библиографический список

1. Васильев Е. П. Технология компьютерного моделирования в среде Microwave Office: учеб. пособие. Рязань: Рязанский Государственный Радиотехнический Университет им. В. Ф. Уткина, 2019. 39 с.
2. Васильев Е. П. Моделирование полосковых линий: учеб. пособие. Рязань: Рязанский Государственный Радиотехнический Университет им. В. Ф. Уткина, 2004. 48 с.
3. Гринев А. Ю., Гибло А. И. Математические основы и методы решения задач электродинамики: учебник для вузов. М.: Радиотехника, 2015. 216 с.
4. Разевиг В. Д., Потапов Ю. В., Курушин А.А. Проектирование СВЧ-устройств с помощью Microwave Office. М.: СОЛОН-Пресс, 2003. 496 с.
5. Проектирование полосового фильтра. [Электронный ресурс].
URL: <https://www.youtube.com/watch?v=tlv3Guj3cXg> (дата обращения: 25.05.2022).
6. Краткое описание возможностей Sonnet Suites. [Электронный ресурс].
URL: http://euointech.ru/eda/microwave_design/sonnet/Sonnet-Suites.phtml (дата обращения: 25.05.2022).

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

УДК 681.5.011; ГРНТИ 50.47.31

АНАЛИЗ ПРОБЛЕМ СОВРЕМЕННЫХ ТЕХНОЛОГИЙ АВТОМАТИЗИРОВАННОГО УПРАВЛЕНИЯ РАБОТОЙ ТЕРМОУПРУГИХ ПРЕССОВ

С.А. Ермоленко

*Московский авиационный институт (Национальный исследовательский университет),
Российская Федерация, Москва, yermolenko.sofya.05@mail.ru*

Аннотация. В работе проведен анализ проблем современных технологий автоматизированного управления работой термоупругих прессов и термокомпрессионных установок. Решение выявленных проблем при применении технологий автоматизированного управления необходимо для получения качественных бездефектных изделий при термокомпрессионной обработке в условиях изотермической штамповки или штамповки в состоянии сверхпластичности в целях минимизации норм расхода основных материалов и повышения коэффициента использования материала.

Ключевые слова: автоматизированная система управления, термоупругий пресс, термокомпрессионная установка, температурно-скоростные параметры, бездефектное изделие, управляющий сигнал, измерительная система, трубчатые электрические нагреватели, широтно-импульсная модуляция, прогнозирование поведения.

ANALYSIS OF THE PROBLEMS OF MODERN TECHNOLOGIES OF AUTOMATED CONTROL OF THERMO-COMPRESSIVE PRESSES

S.A. Ermolenko

*Moscow Aviation Institute (National Research University),
Russian Federation, Moscow, yermolenko.sofya.05@mail.ru*

The summary. The paper analyzes the problems of modern technologies for automated control of the operation of thermoelastic presses and thermocompression plants. The solution of the identified problems in the application of automated control technologies is necessary to obtain high-quality defect-free products during thermocompression processing under conditions of isothermal forging or forging in a state of superplasticity in order to minimize the consumption rates of basic materials and increase the material utilization rate.

Keywords: automated control system, thermoelastic press, thermocompression plant, temperature-speed parameters, defect-free product, control signal, measuring system, tubular electric heaters, pulse-width modulation, behavior prediction.

Введение

Одной из наиболее важных проблем, стоящих перед современным машиностроением вообще и приборостроением в частности является максимальное использование дорогостоящих металлических материалов. Максимальный коэффициент использования материала (КИМ) позволяет интенсивно снижать себестоимость изделий за счет затрат на основные материалы. Данная статья калькулируемой себестоимости изделий в современных условиях высокой стоимости металлических материалов является доминирующей при изготовлении материалоемкой продукции. Применение термоупругих прессов для проведения горячей штамповки металлических материалов в состоянии сверхпластичности или в условиях изотермической штамповки позволяет не только максимально использовать ресурс пластичности обрабатываемых материалов, но и позволяет получать максимальный коэффициент использования металла [1, 2].

Термоупругие пресса представляют собой отдельный вид оборудования для обработки металлов давлением, в которых силовое воздействие создается за счет термического рас-

ширения рабочих элементов. Обработка металлов и сплавов в термоупругих прессах дает определенные преимущества, но в тоже время и характеризуется определенными недостатками. К преимуществам можно отнести: минимальные нормы расходов материалов по сравнению с изготовлением аналогичных деталей методами обработки металлов давлением на традиционном технологическом оборудовании; максимальное использование пластичности материала; возможности получать геометрически сложные изделия за один штамповочный переход, отсутствие необходимости предварительного нагрева заготовки под последующую деформационную обработку [3, 4]. К недостаткам обработки на термоупругих прессах можно отнести: медленный ход прессовой оснастки; длительность охлаждения установки для извлечения оснастки и готового изделия; низкую производительность процесса и т.д. Термокомпрессионные установки представляют собой один из видов термоупругих прессов и характеризуются теми же преимуществами и недостатками процессов при их применении [5]. Одной из наиболее значимых проблем при использовании данного вида деформационного оборудования является образование дефектов формы. Проблема заключается в том, что при применении термоупругих прессов и термокомпрессионных установок технолог всегда стремится использовать минимальные толщины заготовок. Использование минимальной толщины при определенных условиях приводит к потере устойчивости заготовки и образованию различных видов дефектов [6]. Различают следующие характерные дефекты формы, которые могут возникать при штамповке авиационных панелей и обечаек: утяжина на тыльной стороне поверхности панели, образование трещины за счет критического неравенства скоростей деформаций в соседних областях заготовки, образование зажимов как результата потери устойчивости тонких ребер и образовании на ребре складки, дефекты в виде втянутых внутрь заготовки окисных пленок с поверхности полуфабриката [7].

Последствия отклонений от температурно-скоростных параметров

Причины возникновения данных дефектов лежат в нарушении температурно-скоростных параметров деформирования материала. Причиной может являться также перегрев металла в результате деформационной обработки – при применении термоупругих прессов и термокомпрессионных установок нет возможности для интенсивного отвода тепла с поверхности деформируемого полуфабриката [8]. Отклонение от температурно-скоростных параметров деформирования материала приводит в первую очередь к потере устойчивости обрабатываемой заготовки: при отрыве полотна от поверхности гравюры штамповой оснастки металл затягивается в зону деформации и формируется дефект в виде утяжины на тыльной стороне ребра; при потере устойчивости ребра полотна – происходит образование складки, а при последующей деформации складка схлопывается и образуется дефект в виде зажима [7].

Регулирование температурно-скоростных параметров деформирования при реализации технологических процессов штамповки на термоупругих прессах или термокомпрессионных установках в ручном режиме невозможно ввиду низкой производительности процесса и высокой длительности технологической операции. Поэтому, для точного управления режимами нагрева, деформационной обработки, охлаждения при работе на вышеупомянутых видах деформационного оборудования широко применяются различные системы автоматизированного управления [9].

Основой всех автоматизированных систем данного класса являются процессы термического расширения упругих силовых элементов оборудования. Соответственно, возникают явные закономерности – чем выше температура нагрева силовых элементов, тем больше величина их термического расширения и тем больше ход штамповой оснастки; чем выше интенсивность нагрева, тем выше скорость движения деформирующего инструмента и, следовательно, выше скорости деформирования и деформации. Именно на основе этих двух зако-

номерностей и базируются все современные системы автоматизированного управления работой деформационного оборудования [10].

Анализ проблем автоматизированных систем управления

Системы управления могут отличаться по своему аппаратному содержанию, иметь различные компоновочные решения, использовать различные системы и алгоритмы управления, использовать различные модификации прессов и установок в качестве деформирующего оборудования. Однако принципы и закономерности управления всегда остаются едиными [10, 11]. Существует система автоматизированного управления работой термокомпрессионных установок, которая помимо самого деформационного оборудования включает в себя блок автоматизированного управления, персональный компьютер с вмонтированной в него платой ЦАП-АЦП, преобразователи тока и т.д.; существуют системы, которые напрямую с ЭВМ управляют работой трубчатых электронагревателей (ТЭНов). Некоторые системы работают по принципу включения-отключения нагревателей, другие системы используют алгоритмы понижения и повышения входного напряжения, обеспечивая тем самым замедление или ускорение нагрева [12].

Однако у подавляющего большинства автоматизированных систем имеется определенные проблемы и недостатки. Самым существенным недостатком любой автоматизированной системы рассматриваемого вида является инерционность работы оборудования. Решение проблемы инерционности возможно путем применения технологий широтно-импульсной модуляции управляющих сигналов, воздействующих, в конечном итоге, на электрическое питание трубчатых электронагревателей [13]. Данные технологии были исследованы и было установлено, что применение технологий широтно-импульсной модуляции не дает желаемых результатов устранения проблемы инерционности ввиду большой массивности деформирующих рабочих элементов оборудования – нагрев продолжался даже при резком отключении ТЭНов, так как температура ТЭНов была выше, чем температура области, в которой установлены термоизмерительные датчики [14]. Тем не менее, в отечественной и зарубежной практике неоднократно делались попытки решить проблему инерционности систем управления с помощью технологий широтно-импульсной модуляции. В ряде случаев удавалось достичь положительных результатов; в ряде случаев полученный эффект был ограничен [15, 16, 17].

Решение проблемы инерционности автоматизированных систем управления

Эффективное решение проблемы инертности термокомпрессионного деформационного оборудования возможно только одним путем – это точное прогнозирование температуры разогрева рабочих и опорных элементов и точное прогнозирование интенсивности разогрева последних. От этого зависит величина хода термоупругого пресса или термокомпрессионной установки в краткосрочном периоде и скорость деформирования. Это прогнозирование дает возможность выработки сигнала управляющей системы с определенным опережением по времени. Этот временной промежуток необходим для того, чтобы эффективно устранить явление инерционности автоматизированной системы управления [18]. Использование данного метода эффективно, но ставит перед технологами определенную проблему – необходимо проводить прогнозирование поведения деформирующих систем, которые сильно отличаются друг от друга по конструктивным особенностям, геометрическим размерам терморасширяемых элементов, особенностям наличия двойного или тройного яруса рабочих и опорных клиновидных элементов и т.д. Это требует довольно трудоемких работ по созданию обширной базы прогнозируемого поведения деформирующих систем [19].

При создании обширной базы прогнозируемого поведения термокомпрессионных установок и термоупругих прессов необходимо обращать внимание не только на конструктив-

ные особенности деформирующего и терморасширяемых элементов оборудования, но и также на свойства обрабатываемых материалов – при реализации технологических операций деформационной обработки в состоянии сверхпластичности для разных материалов требуются различные температурно-скоростные параметры деформирования. И в целом ряде случаев отклонение от этих температурно-скоростных параметров может оказаться критичным для качества получаемого полуфабриката [20].

Применение термоупругих прессов, несмотря на их низкую производительность и трудоемкость извлечения полуфабриката находит свое применение не только в области изотермической штамповки и штамповки в состоянии сверхпластичности, но и также при получении изделий из гранулированных материалов [21]. Поэтому, для решения проблемы инерционности автоматизированных систем стоит ориентироваться также и на точное краткосрочное прогнозирование поведения деформирующих систем при горячем спекании гранул и сферических порошков различных металлов и сплавов. Причем металлургия гранул требует еще большего внимания к соблюдению температурно-скоростных параметров обработки металлов и сплавов [22].

Решение проблем автоматизированных систем управления работой рассматриваемого деформационного оборудования является крайне актуальной задачей, так как, несмотря на такие недостатки термоупругих прессов как низкая производительность, малая величина хода и высокая трудоемкость извлечения полуфабриката, применении данного вида оборудования крайне перспективно при изготовлении изделий из гранул алюминиевых сплавов, так как это позволяет активно использовать не только термическое спекание гранул, но и их интенсивную совместную пластическую деформацию в условиях всестороннего сжатия. Это оборудование и соответствующая технология опробовалась при производстве компактных изделий из гранул алюминиевых сплавов Д1, Д16 системы Al-Cu-Mg [23], из высокопрочных гранул алюминиевых сплавов В95, В96, В96Ц системы Al-Zn-Mg-Cu [24]. Еще одним направлением перспективного использования термокомпрессионного деформационного оборудования является получение компактных и бездефектных изделий из алюминид никеля NiAl, обработка которого крайне сложна из-за его хрупкости и практически нулевой пластичности в условиях пластической деформации [25]. Эти особенности поведения материала гранул алюминид никеля NiAl создают определенные проблемы при производстве компактных изделий методами металлургии гранул, что, в итоге, требует уникальных температурно-скоростных параметров деформирования, которые можно обеспечить именно обработкой на термоупругих прессах [26, 27].

Заключение

Таким образом, проведен анализ проблем современных систем управления работой термокомпрессионных прессов. Установлены основные проблемы систем управления, которые в большинстве случаев базируются на инерционности работы самой термокомпрессионной установки и на инерционности системы автоматизированного управления. Устранение проблемы инерционности самого оборудования путем внесения изменений в конструктивный особенности установок признано невозможным, так как размещать термоизмерительные устройства в непосредственной близости от ТЭНов не дает возможности отслеживать температурное поведение всей системы. Определено, что основное направление устранения проблемы инерционности автоматизированных систем основывается на прогнозировании поведения системы в краткосрочном периоде и обуславливает необходимость внесения соответствующих изменений, не в аппаратную, а в программную часть автоматизированных систем.

Необходимо отметить, что такие недостатки деформирующих систем как низкая производительность, малая величина хода и высокая трудоемкость извлечения полуфабриката

устранить невозможно из за конструктивных особенностей систем и самого принципа действия данного вида оборудования.

Библиографический список

1. Китаева Д.А., Пазылов Ш.Т., Рудаев Я.И. Температурно-скоростное деформирование алюминиевых сплавов // Прикладная механика и техническая физика. 2016. Т. 57. № 2. – с. 182-189.
2. Смирнов О.М. Перспективные процессы формовки сверхпластичных материалов // *Металлург*. 2010. № 8. С. 29-33.
3. Готлиб Б.М., Вакалюк А.А. Изотермическая штамповка изделий в условиях близких к сверхпластичности // *Современные наукоемкие технологии*. 2019. № 4. – с. 9-13.
4. Изаков И.А., Капитаненко Д.В., Сидоров С.А., Чеботарева Е.С. Нагревательные установки для изотермического деформирования. Часть 1. Типы установок // *Кузнечно-штамповочное производство. Обработка материалов давлением*. 2019. № 3. – с 23-32.
5. Жаров М.В. О применении математического моделирования методом конечных элементов при изотермической штамповке оребренных обечаек // *Технология легких сплавов*. 2018. № 1. – с. 73-77.
6. Алиева Л.И. Образование дефектов в процессах холодного выдавливания // *Вестник Херсонского национального технического университета*. 2016. № 4 (59). – с. 18-27.
7. Жаров М.В. О возможности уточнения режимов штамповки авиапанелей в изотермическом и сверхпластическом состояниях // *Технология легких сплавов*. 2018. № 4. – с. 120-126.
8. Галкин В.И., Палтиевич А.Р., Шелест А.Е. Моделирование и оценка причин возникновения дефектов в процессе изотермической штамповки оребренных панелей из алюминиевых сплавов // *Вестник МАИ*. 2017. № 3. – с 170-178.
9. Баженов М.Г., Галкин В.И., Жаров М.В., Зверлов Б.В., Лисов А.А., Орлов Л.С. Автоматизированная система управления термокомпрессионной установкой // *Измерительная техника*. 2003. № 1. – с. 37-38.
10. Жаров М.В. Информационная система управления производственным процессом на термокомпрессионном технологическом оборудовании // *Технология машиностроения*, 2018, № 3, с. 68 – 73.
11. Гаврильев А.Л., Берчук Д.Ю., Журавлев Д.В. Автоматизированная система управления экструзионной установкой. В сборнике: "Молодежь и современные информационные технологии". Сборник трудов XII Международной научно-практической конференции студентов, аспирантов и молодых ученых. Томск: Национальный исследовательский Томский политехнический университет. 2014. – с. 321-322.
12. Жаров М.В. Информационно-измерительная система для управления производственным процессом на термокомпрессионном технологическом оборудовании // *Вестник Рязанского государственного радиотехнического университета*. 2018. № 63. – с. 116-121. doi: 10.21667/1995-4565-2018-63-1-116-121
13. Шевцов Д. А., Полетаев А. С. Многофазные широтно-импульсные модуляторы для устройств с многоканальным принципом преобразования электроэнергии // *Вестник МАИ*. 2018. № 1. – с.180-189.
14. Жаров М.В. Разработка комплексной автоматизированной системы управления сложнодинамическими процессами термокомпрессии. В сборнике: *Современные технологии обработки металлов и сплавов*. Сборник научно-технических статей профессорско-преподавательского состава кафедры "Технология обработки металлов давлением" им. проф. А.И. Колпашникова. Сер. "Научная мысль". М.: Инфра-М, 2015. – с. 209-216.
15. Петров А.П., Жаров М.В. Программное обеспечение для автоматизированной изотермической штамповки с применением термокомпрессионной установки. // *Технология машиностроения*. 2008. № 8. – с. 52-54.
16. He Sh., Chunjiang Q., Yunlei Z. Analysis of a chain of integrators with pulse-width-modulation controller // *American control conference (ACC)*. 2020. pp. 3653-3658.
17. Лурье М.С., Лурье О.М., Фролов А.С. Исследование динамических режимов систем стабилизации тока мощных электромагнитов широтно-импульсной модуляцией // *Мехатроника, автоматизация, управление*. 2021. Т. 22. № 6. с. 313-320.
18. Жаров М.В. Совершенствование автоматизированной системы управления температурно-скоростными режимами деформирования на термокомпрессионном технологическом оборудовании // *Вестник Рязанского государственного радиотехнического университета*. 2019. № 67. – с. 109-114. doi: 10.21667/1995-4565-2019-67-1-109-114.
19. Жаров М.В. Совершенствование комплексной автоматизированной системы управления динамическими процессами горячей деформационной обработки на термоупругих прессах // *Автоматизация. Современные технологии*, 2022, № 11. Том 76. – с. 483– 489. doi: 10.36652/0869-4931-2022-76-11-483-489.
20. Жаров М.В. Система автоматизированного управления работой термоупругих прессов: решение проблемы инерционности системы // *Автоматизация в промышленности*. 2021. № 4. – с. 31-36. doi: 10.25728/avtprom.2021.04.07.
21. Колпашников А.И., Ефремов А.В. Гранулированные материалы. – М.: *Металлургия*, 1977. – 240 с.

22. Жаров М.В. Измерительно-управляющая система термокомпрессионного оборудования с регламентированными температурно-скоростными параметрами деформирования // Измерительная техника. 2022. № 12. с. 46–51. <https://doi.org/10.32446/0368-1025it.2022-12-46-51>

23. Жаров М.В. Исследование свойств гранулированных материалов системы Al-Cu-Mg, прессуемых из гранул, полученных с применением технологии центрифугования при сверхвысоких скоростях охлаждения // Сварочное производство, 2021, № 10 (№ 226), с. 44 – 48. doi: 10.34641/ТМ.2021.226.4.011.

24. Жаров М.В. Разработка технологии производства гранулированных материалов с ультрадисперсной структурой из высокопрочных алюминиевых сплавов // Вестник машиностроения, 2022, № 8, с. 49 – 55. doi: 10.36652/0042-4633-2022-8-49-55

25. Жаров М.В. Анализ технологических процессов производства сферических порошков и гранул моноалюминид никеля NiAl для нужд отечественного двигателестроения // Вопросы материаловедения, 2022. № 3 (111). с. 29-40. doi: 10.22349/1994-6716-2022-111-3-29-40

26. Жаров М.В. Сравнительный анализ особенностей технологий получения качественного сферического порошка алюминид никеля NiAl // Металлург. 2022. № 11. – с. 57–65. doi: 10.52351/00260827_2022_11_57

27. Bochenek K., Basista M. Advances in processing of NiAl intermetallic alloys and composites for high temperature aerospace applications // Progress in Aerospace Sciences. – 2015. – Vol. 79. – pp. 136-146.

УДК 62-837; ГРНТИ 55.01.85

МЕТОД СИНТЕЗА НЕЧЕТКОГО ПИД РЕГУЛЯТОРА С ПОМОЩЬЮ ИСКУССТВЕННОЙ НЕЙРОННОЙ СЕТИ

И.Н. Романов, М.В. Ленков

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

Аннотация. Предложен метод синтеза ПИД-регулятора с нечетким выводом с помощью нейронной сети обратного распространения на основе LM алгоритма. В пакете Scilab/Xcos на основе Scilab модуля Neural Network разработано приложение реализующее синтез нечеткого ПИД-регулятора.

Ключевые слова: ПИД-регулятор, нечеткий регулятор, искусственная нейронная сеть, система автоматического управления, Scilab/Xcos.

METHOD FOR SYNTHESIS OF A FUZZY PID CONTROLLER USING AN ARTIFICIAL NEURAL NETWORK

I.N. Romanov, M.V. Lenkov

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

The summary. A method for synthesizing a PID controller with fuzzy inference using a backpropagation neural network based on the LM algorithm is proposed. In the Scilab/Xcos package, based on the Scilab Neural Network module, an application has been developed that implements the synthesis of a fuzzy PID controller.

Keywords: PID controller, fuzzy controller, artificial neural network, automatic control system, Scilab/Xcos.

Системы автоматического управления (САУ) на основе ПИД-регулятора с нечетким выводом отличается большим быстродействием и меньшим перерегулированием [1]. Нечеткая система вывода (FIS) строится на основе базы нечетких правил, которые должны основываться на базовом понимании физической системы. Это серьезная задача при проектировании различных нечетких регуляторов. Основная проблема FIS в том, что нет систематической процедуры для определения параметров функций принадлежности. Следовательно, эффективность FIS зависит от оцениваемых параметров. Построение нечетких правил требует определение предпосылок и следствий нечетких множеств.

С другой стороны, искусственная нейронная сеть (ANN) имеет способность учиться на входных и выходных парах и адаптировать в их интерактивном режиме. Основная идея объединения нечеткой системы и нейронных сетей заключается в разработке архитектуры,

которая использует нечеткую систему для представления знаний в интерпретируемой форме, в дополнение к обладанию нейронной сети способностью к обучению для оптимизации.

В данной работе предложен метод синтеза ПИД-регулятора с нечетким выводом с помощью ANN, для которого в пакете Scilab/Xcos разработано соответствующее приложение. Базовая «обертка» ПИД-регулятора использована для обеспечения надежности и устойчивости FIS САУ.

Другим подходом нейро-нечеткой разработки САУ является адаптивная нейро-нечеткая система вывода (ANFIS), которая сочетает в себе возможности обучения нейронной сети и рассуждения нечеткой логики [2]. ANFIS не использует базовую структуру ПИД-регулятора.

Правила нечеткого регулирования

В данном исследовании нечеткие правила используются для масштабирования P, I, D-коэффициентов ПИД-регулятора [1].

Для каждого закона набор нечетких правил генерируется из максимально полного набора правил методом последовательного приближения. Для этого в пакете математического моделирования Scilab/Xcos составлена прикладная программа, моделирующая работу системы управления в режиме реального времени.

Первая итерация этапа настройки ПИД-регулятора включает возмущение уставки и расчет показателей производительности переходной характеристики. На этом этапе из полного набора правил выделяют правила, обеспечивающие заданные показатели производительности. Эти правила записываются в три базы (файла) отдельно для масштабирования P, I, D-коэффициентов ПИД-регулятора (рис. 1).

Базы правил, полученные на этом этапе, используются для обучения нейронной сети.

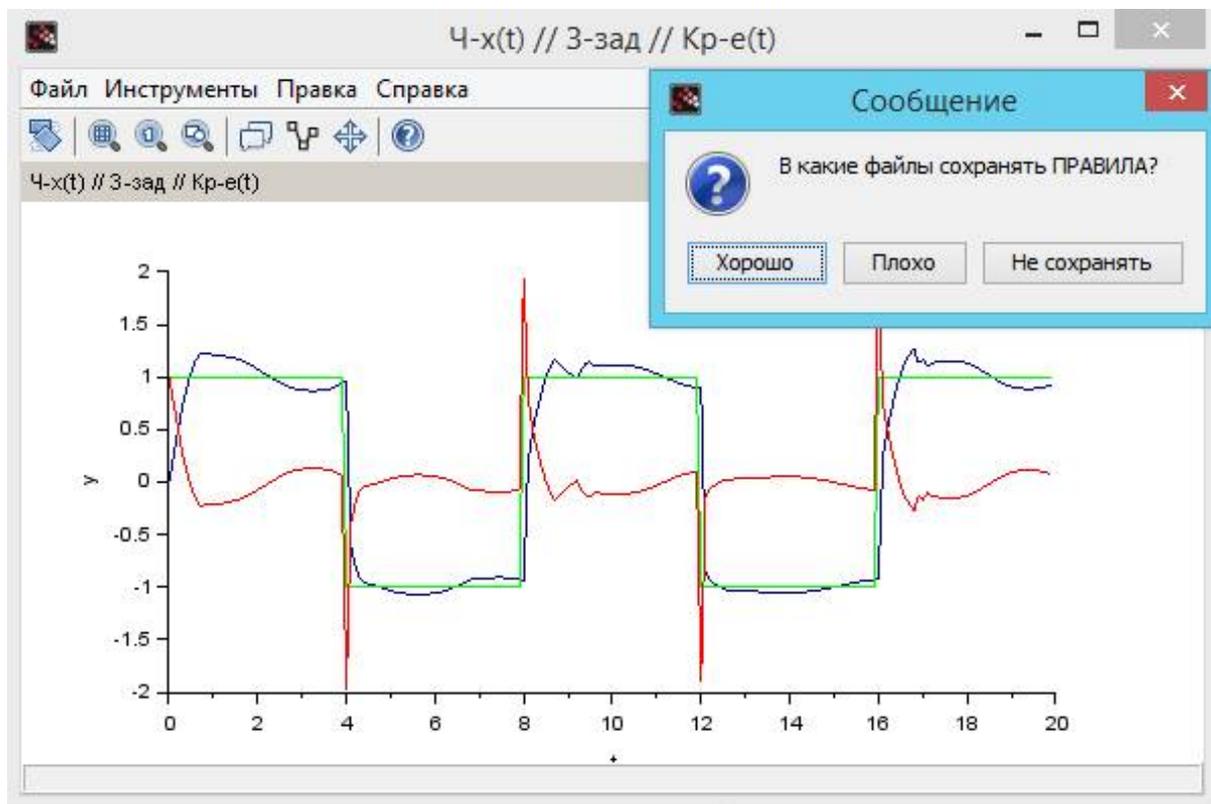


Рис. 1. Формирование обучающей выборки ANN

Результаты построения нечеткого ПИД-регулятора, представленные в данной работе, получены для системы второго порядка, которая в безразмерных переменных имеет вид [1]

$$W(s) = \frac{\lambda^2}{s^2 + 2\zeta s + \lambda^2}, \quad (1)$$

где $W(s)$ – передаточная функция системы;

λ – отношение собственной незатухающей частоты к затухающей;

ζ – коэффициент затухания.

Система управления состоит из объекта управления и нечеткого ПИД-регулятора, охваченных обратной связью (рис. 2).

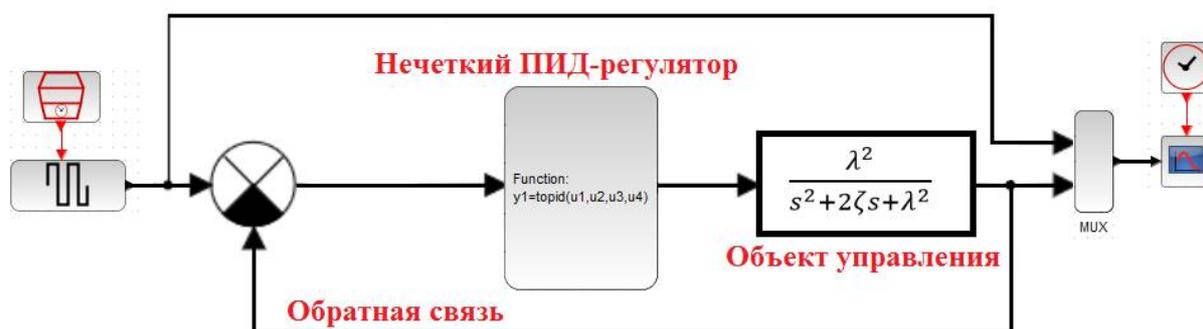


Рис. 2. Структурная схема системы управления

Scilab модуль Neural Network

Для того чтобы начать работать с нейронными сетями в SciLab, необходимо загрузить модуль Neural Network.

Модуль Neuron Networks (искусственные нейронные сети) - это набор инструментов для моделирования нейронных сетей. Модуль может быть использован для построения следующих сетей

1. Perceptron;
2. Adaline;
3. Многослойные сети обратного распространения:
 - Gradient Decent;
 - Gradient Decent with Adaptive Learning Rate;
 - Gradient Decent with Momentum;
 - Gradient Decent with Adaptive Learning Rate and Momentum;
 - Levenberg–Marquardt;
4. Competitive Network;
5. Self-Organizing Map;
6. LVQ1 Network.

Разработанный код в Scilab сохраняется в файлах сценариев с расширением *.sce. Запустить соответствующие файлы на исполнение можно либо с помощью команды

$$\text{exec}('file/path/file.sce'),$$

либо с помощью специально написанного пользовательского GUI-интерфейса.

Для паттернов малого и среднего размера наиболее быстрым и эффективным методом обучения нейронной сети показал себя алгоритм Левенберга Марквардта (LM) [3], который является производным от метода Ньютона. Он наследует скорость от метода Ньютона, но также имеет сходимость метода наискорейшего спуска. Это особенно подходит для обучения

нейронной сети архитектурой MLP, в которой индекс производительности рассчитывается по среднеквадратичной ошибке (MSE).

Полный синтаксис функции обратного распространения с алгоритма Левенберга – Марквардта имеет вид:

$$W = \text{ann_FFBP_lm}(P, T, N, af, \mu, \mu_{\max}, \theta, \text{itermax}, \text{mse_min}, \text{gd_min}),$$

где P - входные параметры;

T - целевые параметры;

N - число нейронов в каждом слое, включая входной и выходной слой;

af - функция активации от 1-го скрытого слоя к выходному слою (по умолчанию - логистическая функция активации «*ann_log_activ*»);

lr - это скорость обучения;

itermax - максимальное время обучения (максимальное количество эпох (циклов) для обучения);

mse_min - минимальная ошибка (задача) и gd_min - минимальный градиент для остановки обучения.

Для исследуемой в данной работе системы хорошо показала себя четырёхслойная ANN, которая содержит входной слой с 4 нейронами, выходной с 1 нейроном и 2 скрытых слоя. Функция активации такой ANN имеет вид:

// обучаем нейронную сеть

$N = [4, m, n, 1];$

$af = ['\text{ann_purelin_activ}', '\text{ann_logsig_activ}', '\text{ann_logsig_activ}'];$

$W = \text{ann_FFBP_lm}(P, T, N, af, 0.01, 1000),$

где m, n – число нейронов в скрытых слоях, которое определяется количеством данных в обучающей выборке.

Так как входные сигналы: «ошибка», «интеграл ошибки» и «производная ошибки» могут принимать положительные и отрицательные значения, то передаточные функции нейронов первого скрытого слоя приняты линейными (*purelin*). Выходные сигналы масштабирования P, I, D -коэффициентов положительны, поэтому передаточные функции нейронов выходного слоя Log-Sigmoid (*logsig*)

$$f(x) = \frac{1}{1 + e^{-x}}.$$

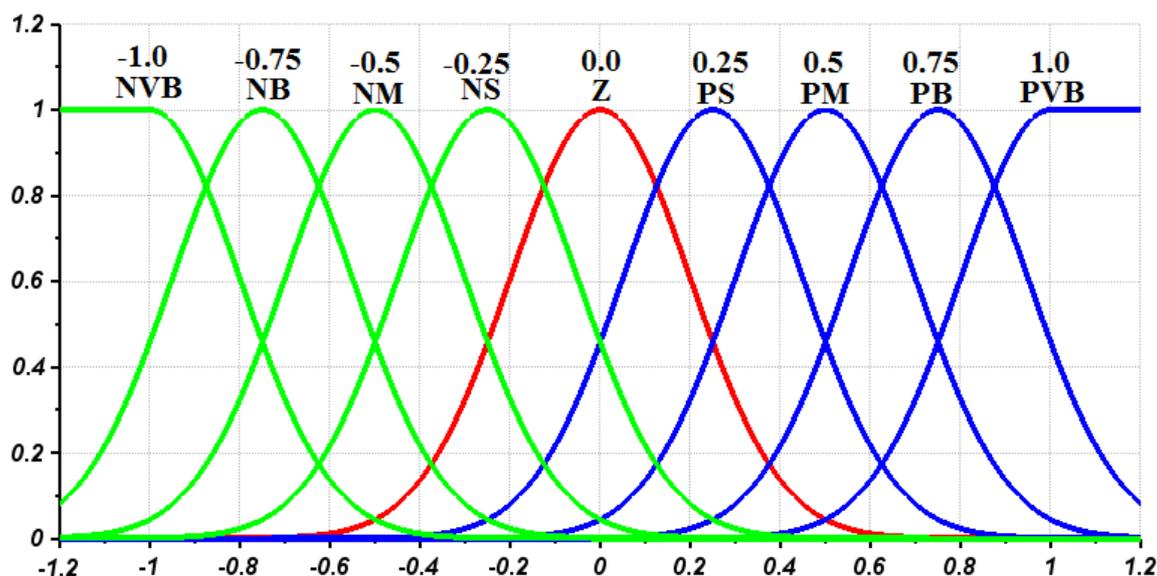
Такая сеть имеет всего $(5 \cdot m + 2 \cdot n + m \cdot n + 1)$ настраиваемых параметров (весов и смещений). Чтобы сеть могла адекватно представлять обучающую выборку она должна иметь меньше параметров, чем количество данных в обучающем наборе. Как показано в работе [4], нет смысла использовать большую сеть, когда сработает меньшая (концепция, которую часто называют бритвой Оккама).

Синтез нечеткого ПИД-регулятора

Нечеткая логика ПИД-регулятора построена на основе функций принадлежности Гаусса [5, 6]

$$\mu(x, \sigma, m) = e^{-\frac{(x-m)^2}{2\sigma^2}}. \quad (2)$$

Диапазоны параметров функций принадлежности для входных сигналов составляют $[-1.0 \dots 1.0]$ для выходных $[0.0; 0.25; 0.5; 0.75; 1.0]$ (рис. 3).

Рис. 3. Функции принадлежности входных сигналов при $\sigma = 0.2$

Внутренние представления баз правил в нечеткой системе имеют вид, представленный в таблице 1.

Таблица 1

#	Если «ошибка»	оператор	«интеграл ошибки»	оператор	«производная ошибки»	, то «выход»
1	NB(-0,75)	И	NM(-0,5)	И	NS(-0,25)	PM(0,5)
2	NB(-0,75)	ИЛИ	NB(-0,75)	И	NS(-0,25)	PS(0,25)
3

Для дефаззификация использован дискретный вариант центроидного метода

$$Z = \frac{\sum_{i=1}^n \alpha_i \cdot z_i}{\sum_{i=1}^n \alpha_i}, \quad (3)$$

где n – количество всех правил;

z_i – выходной сигнал каждого правила;

α_i – это вычисление условий каждого правила для данных входных параметров.

Например, для 1-го и 2-го правил в таблице 1:

$$\alpha_1 = \min [\mu(e, \sigma, NB), \mu(ie, \sigma, NM), \mu(de, \sigma, NS)],$$

$$\alpha_2 = \max [\mu(e, \sigma, NB), \min[\mu(ie, \sigma, NB), \mu(de, \sigma, NS)]],$$

где e – текущее значение «ошибки»;

ie - текущее значение «интеграла ошибки»;

de - текущее значение «производной ошибки».

САУ в режиме реального времени масштабирует каждую компоненту ПИД-регулятора. Масштабные коэффициенты вычисляются на основе управляющего набора пра-

вил путем дефазификации по формуле (3). Для каждой компоненты ПИД-регулятора формируется отдельный управляющий набор правил.

Алгоритм синтеза ПИД-регулятора можно резюмировать следующим псевдокодом:

Итерация 1: Формирование обучающей выборки. Полная база содержит 14580 правил, составленных по таблице 1. На этапе *1-ой итерации* последовательно проводится моделирование исследуемой системы при изменяющейся со временем уставке. При каждом моделировании набор правил компонент ПИД-регулятора случайным образом выбирается из полной базы. Выбранные правила записываются в обучающую выборку для ANN (рис. 1).

Итерация 2: Исследование и фильтрация обучающей выборки, сформированной при 1-ой итерации. На этом этапе моделирование проводится на основе правил, добавленных в обучающую выборку. Приложение, разработанное в пакете Scilab/Xcos, предоставляет инструменты для корректировки обучающей выборки, сгруппированные в GUI-интерфейс (рис. 4).

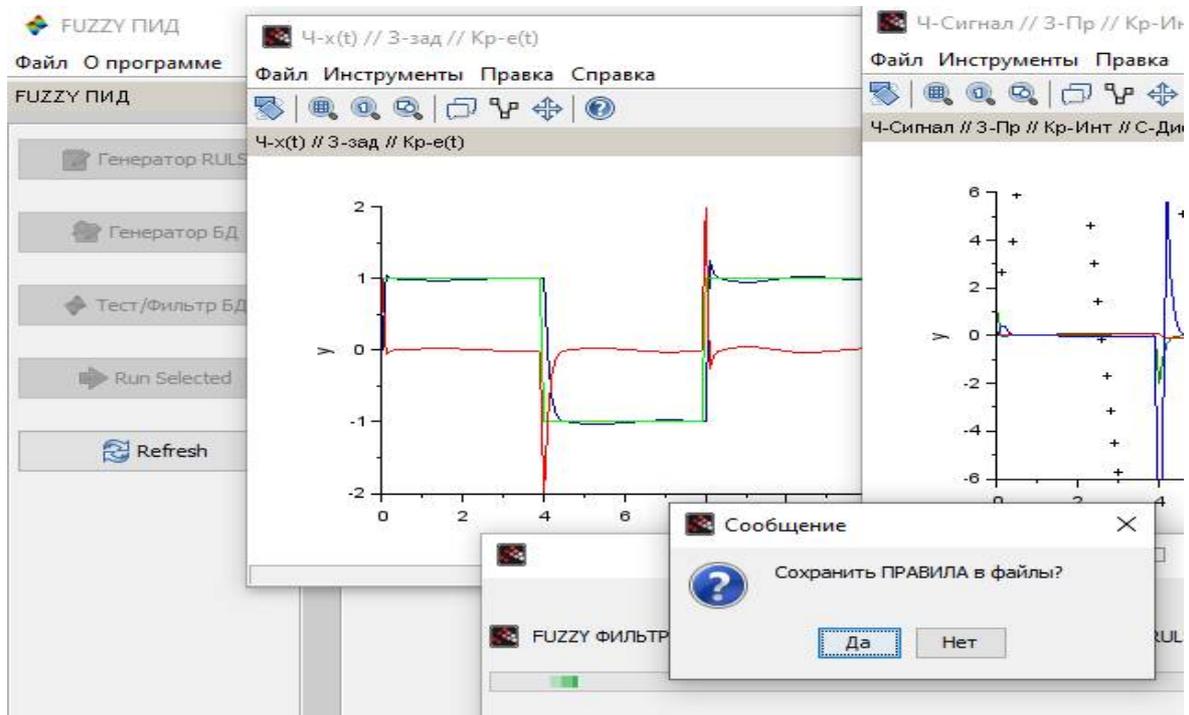


Рис. 4. GUI-интерфейс приложения

Итерация 3: Используя обучающую выборку, ANN генерирует базы правил для каждой компоненты ПИД-регулятора.

Итерация 4: Формирование управляющего набора правил. Управляющий набор правил для каждой компоненты ПИД-регулятора формируется на основе баз правил, полученных на этапе *3-ей итерации* (рис. 4).

Таким образом, синтез нечеткого ПИД-регулятора проводится в пакете Scilab/Xcos (рис. 1, 4). Использование ANN этапе *3-ей итерации* обеспечивает быструю и устойчивую «сходимость» алгоритма.

Диапазоны изменения P, I, D-коэффициентов ПИД-регулятора и количество правил в управляющем наборе определяются техническими особенностями САУ.

В результате реализации алгоритма формируется управляющий набор правил для каждой компоненты ПИД-регулятора и оптимизированный параметр σ функций принадлежности (2).

Результаты эксперимента

В качестве примера по разработанному алгоритму синтезирован нечеткий ПИД-регулятор для системы второго порядка (1) при следующих значениях параметров $\lambda^2 = 10$, $\zeta = 3$. Диапазоны изменения P, I, D-коэффициентов 1000, 1000 и 100 соответственно. Количество правил в управляющем наборе принималось равным 5 для каждой компоненты.

ПИД-регулятор был синтезирован на основе обучающей выборки, содержащей по 80 правил для каждой P, I, D-компоненты, с помощью ANN, которая имеет 6 и 5 нейронов в 1-ом и 2-ом скрытых слоях соответственно. Параметр σ функций принадлежности оптимизировался к значению $\sigma = 0.2$. При формировании обучающей выборки использовалась «ступенчатая» уставка (рис. 1).

В экспериментах синтезированный ПИД-регулятор показал высокое качество регулирования во всех режимах работы САУ. Режимы работы определялись произвольным входным заданием регулируемого параметра системы («уставкой») (рис. 5).

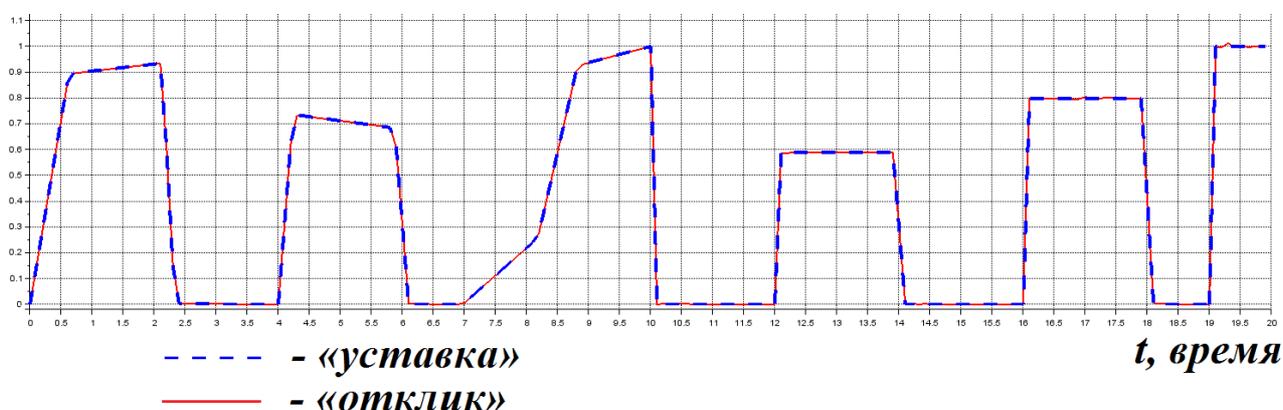


Рис. 5. «Уставка» и «отклик» (отработанные значения регулируемого параметра) системы

Следует отметить, что на участках с постоянным значением «уставки» нечеткий ПИД-регулятор работает с одинаковыми средними значениями P, I, D-коэффициентов. В рассматриваемом примере эти средние значения пропорционального, интегрального и дифференциального коэффициентов соответственно равны: 157.39, 499.32, 0.00.

Библиографический список

1. Романов И.Н., Ленков М.В. Исследование системы управления на основе ПИД-регулятора с нечетким выводом // Актуальные проблемы современной науки и производства. Материалы VII Всероссийской научно-технической конференции. Рязань, 2022. С. 232-243.
2. Jang JS. R. ANFIS: adaptive-network-based fuzzy inference system, IEEE Transact Syst Man Cybernetics 1993; Vol. 23, С. 665–685.
3. M.T. Hagan. M.B. Menhaj. "Training feed forward networks with the Marquardt algorithm." IEEE Trans. on Neural Networks; NN- 5:989-993. sciences, 1994; Vol. 23, С. 899–916.
4. Neural Network Design (2nd Edition). Martin T. Hagan, Howard B. Demuth, Mark H. Beale, Orlando De Jes s. ISBN-10: 0-9717321-1-6; ISBN-13: 978-0-9717321-1-7, 2014. – 800 с.
5. Методы робастного, нейро-нечёткого и адаптивного управления: Учебник / Под ред. Н.Д. Егупова, 2-е изд. - М. : Изд-во МГТУ им. Баумана, 2002. - 744 с.
6. Усков А.А., Кузьмин А.В. Интеллектуальные технологии управления. Искусственные нейронные сети и нечёткая логика. - М. : Горячая линия - Телеком, 2004. - 143 с.

УДК 620.1.05; ГРНТИ 59.29

АВТОМАТИЗИРОВАННЫЙ КОМПЛЕКС ИЗМЕРЕНИЯ ДИЭЛЕКТРИЧЕСКИХ СВОЙСТВ КАБЕЛЬНОЙ ПРОДУКЦИИ

А.И. Дерябин, М.В. Ленков

*Рязанский государственный радиотехнический университет имени В.Ф. Уткина,
Российская Федерация, Рязань, lenkov.m.v@rsreu.ru*

Аннотация. В работе рассматриваются существующие аппаратно-программные средства измерения диэлектрических свойств материалов. Представлена структура измерительного комплекса и описаны основные режимы его работы. Сформулированы требования по функциональности и составу к проектируемому автоматизированному комплексу измерения диэлектрических параметров кабельной продукции.

Ключевые слова: диэлектрические параметры, автоматизированный измерительный комплекс, микропроцессорное управление.

AUTOMATED COMPLEX FOR MEASURING THE DIELECTRIC PROPERTIES OF CABLE PRODUCTS

A.I. Deryabin, M.V. Lenkov

*Ryazan State Radio Engineering University named after V.F. Utkin,
Russia, Ryazan, lenkov.m.v@rsreu.ru*

The summary. The paper considers the existing hardware and software tools for measuring the dielectric properties of materials. The structure of the measuring complex is presented and the main modes of its operation are described. The requirements for functionality and composition to the designed automated complex for measuring the dielectric parameters of cable products are formulated.

Keywords: dielectric parameters, automated measuring complex, microprocessor control.

В настоящее время в отечественном приборостроении ощущается дефицит разработок технических средств измерения диэлектрических параметров различных изделий, обладающих повышенной надежностью и точностью. В связи с этим, была поставлена задача поиска технических решений для создания автоматизированного комплекса измерения диэлектрических свойств кабельной продукции.

Измерение характеристик диэлектрических материалов может дать очень важную информацию для многих прикладных областей электронной техники. Например, потери в изоляции кабеля, сопротивление подложки или частота диэлектрического резонатора непосредственно связаны с диэлектрическими свойствами. Также эта информация полезна для улучшения свойств ферритов, поглотителей излучения и конструкций корпусов. В новейших приложениях в аэрокосмической, автомобильной, пищевой и медицинской промышленности также можно использовать преимущества знания диэлектрических свойств.

Существуют различные методы исследования диэлектрических свойств материалов: резонансные, волноводные, оптические, калориметрические, пондеромоторные и т. д.

При измерении диэлектрических свойств твердых тел применяют две основные методики измерений:

- проба вводится в измерительный участок и располагается между электродами определенного геометрического размера;

- на пробу наносятся электроды соответствующих размеров.

При измерениях по первой методике необходимо ограничивать и контролировать прижимные усилия, строго соблюдать плоскопараллельность пробы, исключать зазоры между электродами и образцом. При использовании второго метода электроды наносятся непосредственно на образец с помощью проводящих паст методами вжигания, электрохимическими методами или методами вакуумного осаждения. Применение того или иного метода зависит от химических свойств исследуемого образца. Достаточно

универсальным средством является нанесение на образец тонкой металлической фольги (золотой или алюминиевой).

В случае твердых диэлектриков измерения часто сводятся к измерению емкости плоского электрического конденсатора, между пластинами которого помещен исследуемый диэлектрик. В случае измерения диэлектрической проницаемости тонких образцов (например, при измерениях в бумажной или текстильной промышленности) можно использовать частично заполненный конденсатор.

Выбор наиболее подходящего метода измерения определяется многими критериями. Приведём перечень наиболее важных факторов, выполнение которых необходимо при проектировании средства измерения диэлектрических свойств материалов:

- диапазон частот;
- ожидаемые значения ϵ_r и μ_r ;
- необходимая точность измерения;
- свойства материала (например, однородность, изотропность);
- вид материала (например, жидкость, порошок, твёрдое тело, лист);
- ограничения на размер образца;
- разрушающий или неразрушающий метод;
- контактный или бесконтактный метод;
- температура;
- стоимость.

Наряду с перечисленными параметрами сопротивление изоляции является основным показателем исправного состояния кабельного изделия. При испытаниях и проверке во время производства кабеля, замеряют его сопротивление изоляции, чтобы определить снижение диэлектрических свойств, изучается состояние кабелей, проводников и остальных электронных компонентов - не разрушены ли они в ходе влияния высокого напряжения, солнечного света, температурного режима и других факторов. По результатам делается вывод безопасна ли дальнейшая эксплуатация изделия [1].

Проанализировав литературные источники и существующие аналоги [2] проектируемого устройства была предложена его структурная схема (Рисунок 1).

Рассмотрим принцип действия проектируемого устройства на основе данной структурной схемы.

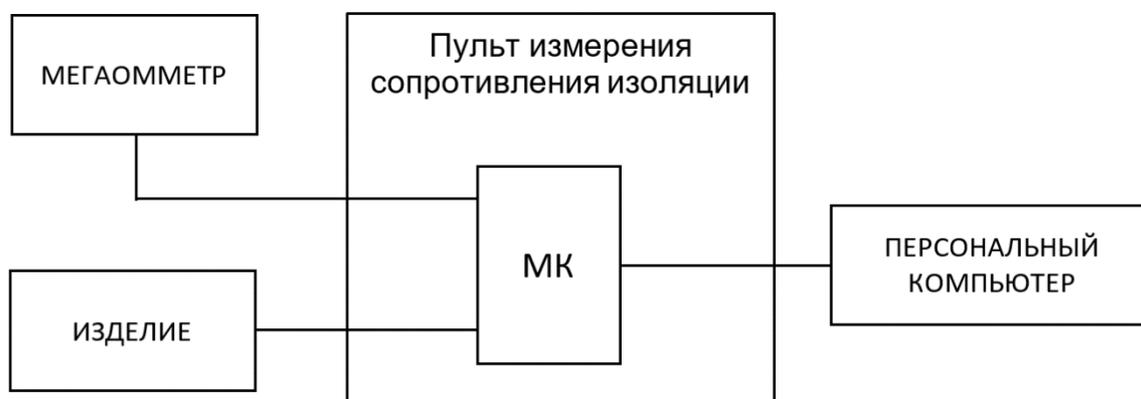


Рис. 1. Структурная схема автоматизированного комплекса измерения диэлектрических свойств кабельной продукции

Предлагаемое устройство относится к средствам контрольно-измерительной техники, служит для тестирования и измерения сопротивления изоляции всего изделия в целом или на отдельных участках цепи, а также определения дефектов электрического монтажа объектов контроля. Оно содержит пульт контроля на базе микроконтроллера (МК) с введенной в его память программой управления процессом контроля электрических цепей с использованием частных таблиц электрических соединений, загруженных в управляющую программу на компьютер (ПК).

К пулту контроля подключается аналогово-цифровой мегаомметр для измерения сопротивления изоляции приходящих сигналов отклика от объекта исследования. Выходы пульта измерения сопротивления изоляции подключены к ПК для передачи результатов всех проведенных измерений. Связь персонального компьютера с МК также обеспечивает формирование контрольных сигналов и сигналов отклика. Микроконтроллер непосредственно связан с опорным разъемом жгута изделия, в цепях которого предполагаются дефекты электрического монтажа объекта контроля. Также по разъему жгута МК поочередно (в соответствии с контрольной таблицей соединений) подключается к электрическим цепям объекта контроля. При этом, выходы разрядов МК контрольных сигналов являются источниками тестовых воздействий на контролируемые электрические цепи изделия. Состояние разрядов сигналов отклика отражает состояние контролируемых электрических цепей изделия.

В память ПК предварительно вводятся частные таблицы соединений, отражающие электрические цепи, связывающие контакты каждого штатного разъема объекта контроля с соответствующими контактами других штатных разъемов объекта контроля (электрически соединенных с опорным разъемом в соответствии с электрической схемой объекта контроля).

К пулту проверки (Пульт измерения сопротивления изоляции) подключается изделие через контрольный жгут для подключения всех электрических цепей как совместно, так и по отдельности.

В процессе контроля электрических цепей ПК, используя контрольную программу, с помощью пульта поочередно подключает жгут ко всем цепям из состава изделия, электрически сопряженными с опорным разъемом. Количество разрядов тестовых сигналов и сигналов отклика должно быть не меньше максимального количества контактов в любом разьеме изделия. Нумерация разрядов соответствует нумерации контактов подключаемых цепей в разьеме.

Последовательность операций контроля с применением устройства определяется программой управления, предварительно введенной в ПК перед началом работ по контролю электрических цепей.

Контрольная программа предусматривает 2 режима проверки:

1) автоматическая проверка с отображением конечного результата проверки по предварительно введенной частной таблицы соединений, отражающей электрические цепи, связывающие контакты каждого штатного разъема объекта контроля с соответствующими контактами других штатных разъемов изделия;

2) «ручной» режим проверки, для проверки конкретного соединения (цепи) в соответствии с таблицей соединений и измерительным результатом.

На основе рассмотренного устройства можно выделить достоинства подобных аппаратных средств измерения диэлектрических свойств:

1) небольшие габариты конструкции устройства, основу которого составляет портативный компьютер;

2) использование откалиброванного и подключаемого к ПК мегаомметра;

3) удобство работы с устройством в ограниченных размерах рабочего пространства на штатных местах;

4) не высокая стоимость устройства, так как исключаются из состава многофункциональный измерительный прибор и коммутатор каналов;

5) повышение эффективности за счет совмещения контроля целостности электрических цепей и выявления ложных соединений и замыканий;

6) высокая эффективность применения, так как устройство за один цикл обеспечивает контроль целостности цепей электрооборудования, выявляет ложные электрические цепи (замыкания), обеспечивает контроль сохранности изоляции (отсутствие замыканий между электрическими цепями);

7) может применяться для разных изделий, использующих одинаковый разъем для подключения (т.е. используя управляющую программу на ПК можно создать базу данных по электрическим цепям изделий и проверять их).

Таким образом, были сформулированы функциональные требования к проектируемому устройству:

1) контроль целостности электрических цепей;

2) обнаружение обрывов электрических цепей;

3) обнаружение лишних соединений и замыканий (по результатам измерения сопротивления изоляции);

4) измерение сопротивления изоляции как на всей электрической части изделия, так и на отдельных контрольных цепях.

На основе проведенного анализа существующих контрольно-измерительных систем проверки диэлектрических свойств изделий можно сделать вывод, что при проектировании подобных технических средств в их структуру необходимо включать микропроцессорный модуль с функциональным и понятным пользовательским интерфейсом. Кроме этого, система должна обеспечивать реализацию ручного и автоматизированного режима тестирования для оперативной корректировки метода контроля и измерения (например, для проверки определенной группы электрических цепей или контактов в цепи), а также минимизации методических ошибок.

Использование подобных устройств на предприятиях электронной промышленности позволяет добиться повышения качества, скорости тестирования и измерения. Однако, итоговые решения о результатах проверки принимает непосредственно оператор.

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 681.518.2; ГРНТИ 50.49

АВТОМАТИЗИРОВАННАЯ СИСТЕМА ИДЕНТИФИКАЦИИ И КОНТРОЛЯ ПСИХОЭМОЦИОНАЛЬНОГО СОСТОЯНИЯ ЧЕЛОВЕКА

А.С. Сырцов, М.В. Ленков, С.С. Сёмина

*Рязанский государственный радиотехнический университет имени В.Ф. Уткина,
Российская Федерация, Рязань, lenkov.m.v@rsreu.ru*

Аннотация. В работе предлагается вариант аппаратно-программного средства, в основу которого положены методы биометрической идентификации личности, анализа параметров состояния человека и программные алгоритмы сопровождения интеллектуальных систем принятия решения. Представлен анализ существующих методов объективного тестирования функционального состояния человека и аппаратно-программных прототипов их реализации, на основе которых определены принципы измерения, положенные в основу работы прибора, а также его структура и конструктивное исполнение.

Ключевые слова: биометрические данные, идентификация личности, аппаратно-программный комплекс, интеллектуальная система.

AUTOMATED SYSTEM FOR IDENTIFICATION AND CONTROL OF HUMAN PSYHO-EMOTIONAL STATE

A.S. Syrtcov, M.V. Lenkov, S.S. Semina

*Ryazan State Radio Engineering University named after V.F. Utkin,
Russia, Ryazan, lenkov.m.v@rsreu.ru*

The summary. The paper proposes a variant of the hardware and software tool, which is based on the methods of biometric identification of a person, analysis of the parameters of a person's state, and software algorithms for supporting intelligent decision-making systems. An analysis of the existing methods for objective testing of the functional state of a person and hardware and software prototypes of their implementation is presented, on the basis of which the measurement principles underlying the operation of the device, as well as its structure and design, are determined.

Keywords: biometric data, personal identification, hardware and software complex, intelligent system.

Задачи контроля доступа человека на объект совместно с объективной оценкой его состояния при минимальном его участии является важной, своевременной и актуальной задачей в сфере безопасности. Разработка цифровых средств идентификации и параметрического анализа состояния человека, основанных на применении комплекса скрининговых методов диагностики, является не простым, но эффективным и оптимальным решением. Использование при проектировании технического устройства современных датчиков и элементов микропроцессорной техники, совместно с программным обеспечением, осуществляющим анализ измеряемых параметров, дает возможность не только идентифицировать личность, но и диагностировать параметры психоэмоционального состояния, что значительно расширяет прикладную область применения подобных устройств.

Описание устройства

Для разработки устройства был произведен анализ существующих методов объективного тестирования функционального состояния человека и аппаратно-программных аналогов их реализации, представленных на рисунке 1. Он позволил выявить, что совместное применение методов измерения кожно-гальванической реакции, пульса и артериального давления с высокой степенью достоверности может служить объективным инструментом формирования вывода о психоэмоциональном состоянии обследуемого. А обработка сканов вен ладони и, в отдельных случаях, фаланги пальца позволит идентифицировать личность с высокой точностью.



Профессиональный компьютерный полиграф «Полискор»



Система психофизиологического тренинга методом биологической обратной связи «Кинезис»

Рис. 1. Существующие аппаратно-программные средства измерения функциональных параметров

Важным элементом разрабатываемого средства является построение программного алгоритма, обеспечивающего получение диагностических данных с датчиков, регистрирующих параметры, на основе вышеуказанных методов, выполнение автоматической идентификации личности и формирование заключения о психоэмоциональном состоянии человека. Предлагаемый алгоритм подразумевает работу с динамической базой данных индивидуальных физиологических показателей работников организации, что позволяет перестраивать граничные значения данных параметров сотрудника после прохождения многопараметрической идентификации.

Таким, образом, основной целью работы является создание мобильного цифрового устройства, главными задачами которого являются:

- 1) идентификация личности;
- 2) определение психоэмоционального состояния человека (степени возбуждения).

Структурная схема предлагаемого устройства приведена на рисунке 2.

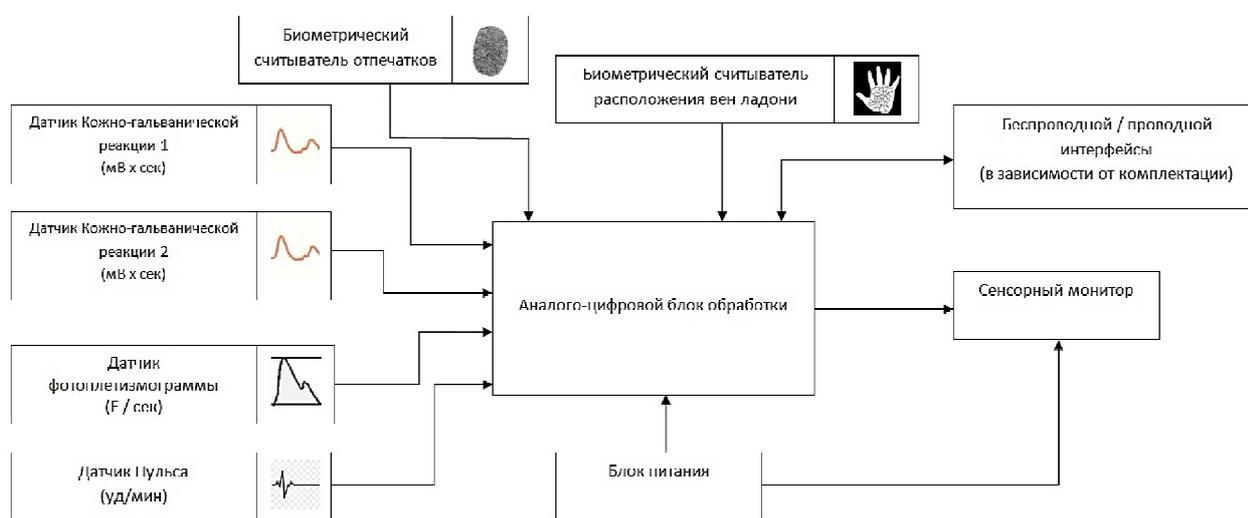


Рис. 2. Структурная схема разрабатываемого автоматизированного устройства

Устройство состоит из диагностического блока измерения и блока визуального контроля информации (сенсорного монитора). В основу измерения положен принцип многопараметрической оценки функционального состояния человека:

- сканирование вен ладони и отпечатка пальца (для идентификации личности человека, биометрические параметры которого занесены в базу);
- определение кожно-гальванической реакции (КГР);

- измерение пульса и артериального давления (для определения психоэмоционального состояния человека).

В разрабатываемой схеме для контроля и получения данных о психоэмоциональном состоянии человека используется датчик кожно-гальванической реакции, датчик фотоплетизмограммы и датчик пульса, а для идентификации личности - биометрический считыватель расположения вен ладони и биометрический считыватель отпечатков пальцев. Для преобразования аналоговой информации с датчиков в цифровой вид с целью последующей обработки и представления оператору в структуру прибора введен аналого-цифровой блок обработки сигналов. В качестве средства визуального контроля за процессом измерения и для получения результатов применяется планшетный компьютер с сенсорным монитором. Передача информации с центрального устройства на монитор может осуществляться беспроводным путем по протоколам сетей Bluetooth и Wi-Fi, либо проводным – сетей Ethernet.

Конструктивное исполнение разрабатываемого устройства представлено на рисунке 3.

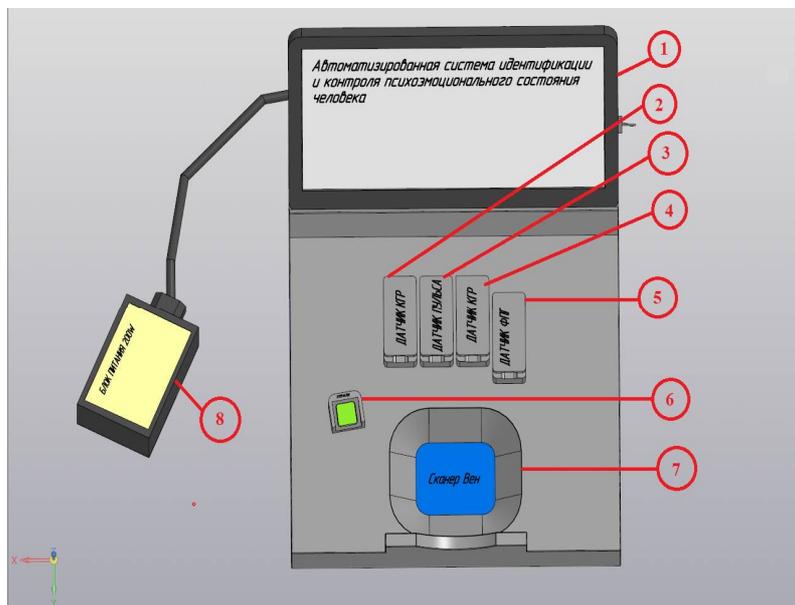


Рис. 3. Модель общего вида прибора

На рисунке 3 аппаратная часть разрабатываемого прибора включает в себя:

- 1) Сенсорный монитор (планшет).
- 2) Датчик кожно-гальванической реакции 1.
- 3) Датчик пульса.
- 4) Датчик кожно-гальванической реакции 2.
- 5) Датчик фотоплетизмограммы.
- 6) Биометрический считыватель отпечатков пальцев.
- 7) Биометрический считыватель вен ладони.
- 8) Блок питания.

Методика измерений

Методика измерения заключается в установке обследуемым ладони на измерительный блок и помещении фаланг пальцев в корпус датчиков. После этого производится кратковременное измерение и обработка параметров. Результаты диагностики выдаются на монитор прибора сразу после окончания процесса цифровой обработки данных. Алгоритм работы прибора состоит в следующем. Первоначально производится процесс идентификации личности, включающий в себя два этапа. Первым этапом является сканирование вен ладони. Счи-

тыватель вен ладони сканирует ладонь объекта в инфракрасном диапазоне излучения света с длинной волны 700-900нм. Так как гемоглобин крови поглощает ближний ИК свет значительно больше по сравнению с окружающими тканями, то в этом случае траектория местоположения сосудов может вносить искажения и помехи, формируя тень на анализируемом изображении. Если с помощью считывателя вен не удастся установить личность объекта, тогда проводится второй этап измерения - анализ по отпечатку пальца. Только после успешного прохождения идентификации личности начинает работать алгоритм определения психоэмоционального состояния человека.

Кожно-гальваническая реакция (КГР) представляет собой изменение разности потенциалов и снижения электрического сопротивления между двумя участками поверхности кожи. Датчики кожно-гальванической реакции (КГР) контактируют с указательным и безымянным пальцами руки, а в качестве метода измерения, применяется экзосоматический метод. В данном методе информативным параметром состояния нервной системы является сопротивление (КС) или проводимость (КПр) кожи, которые изменяются соответственно при увеличении количества электролитов в коже. при использовании данного метода необходимо применение внешнего источника тока, при помощи которого оценивается падение напряжения на измеряемом сопротивлении. Значение напряжения по рекомендациям должно колебаться в пределах 0,5 В, а плотность тока для безопасного использования не превышает 10 мкА/см². Выбор данного метода измерения обусловлен его простотой технической реализации и высокой помехоустойчивостью.

Фотоэлектрическая плетизмография (ФПГ) регистрирует оптическую плотность исследуемой ткани. Исследуемый участок ткани просвечивается инфракрасным светом, который после отражения (рассеивания) попадает на фотопреобразователь. Интенсивность отраженного или рассеянного исследуемым участком ткани света, определяется количеством содержащегося в нем крови. Выбор данного датчика объясняется тем, что во время проведения исследований психоэмоционального состояния на существующих аппаратных решениях давление пневматической манжеты рекомендуется нагнетать от 30 до 60 мм рт.ст. Обратившись к графику гемодинамики в разных отделах сосудистого русла, можно определить, что в ходе проведения исследований отслеживается динамика кровенаполнения артериол, конечных артерий и капилляров (рисунок 4).

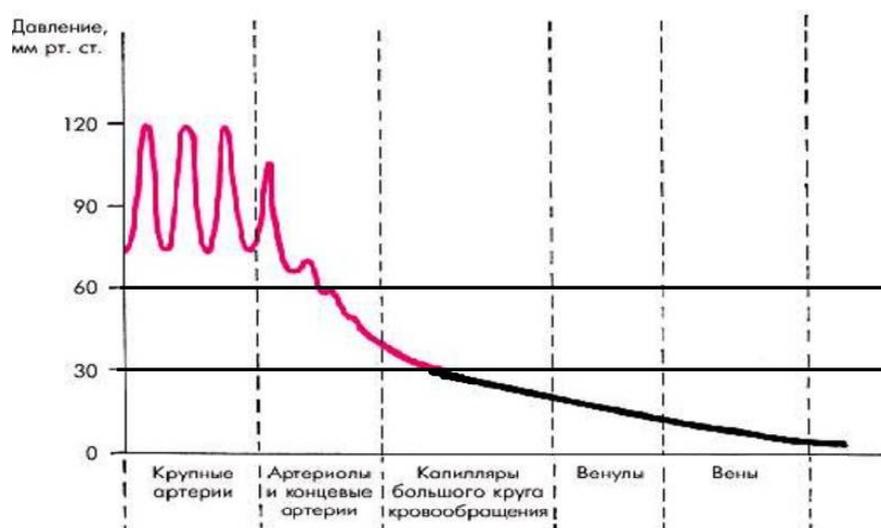


Рис. 4. График гемодинамики в разных отделах сосудистого русла

Разрабатываемый аппаратно-программный комплекс позволяет получать, анализировать и накапливать данные, создавая (корректируя) базу данных измеряемых параметров. Формирование результата тестирования производится на основании работы программного алгоритма, который заключается в применении нечетко-логической математической модели обработки результатов. Она обеспечивает информационный анализ соответствия и степени отклонения текущих измеряемых параметров установленным границам данных, на основании чего формируются решения по допуску или ограничению сотрудников к выполнению трудовых функций.

Преимуществами разрабатываемого автоматизированного технического устройства являются:

- высокая достоверность получаемых результатов за счет применения многопараметрической оценки диагностируемых параметров;
- малое время, затрачиваемое на проведение полного цикла измерения для одного объекта, не превышающее 2 мин.;
- мобильное исполнение устройства и возможность проведения диагностики в любых производственных условиях.

Заключение

Предложен вариант автоматизированного аппаратно-программного устройства, в основу которого положены методы биометрической идентификации личности, анализа параметров состояния человека и программные алгоритмы сопровождения интеллектуальных систем принятия решения. Также, важно, что используемые алгоритмы основаны на работе с динамической базой данных индивидуальных показателей работников организации, что позволяет перестраивать граничные значения данных параметров сотрудника после прохождения многопараметрической идентификации.

Библиографический список

1. Аркелов, Г.Г. КГР при эмоциональных, ориентировочных и двигательных реакциях / Г.Г. Аркелов, Е.К. Шотт // Психологический журнал. – 1998. - No 4.
2. Malmivuo, J. Bioelectromagnetism / J. Malmivuo, R. Plonsey // The Electrodermal Response . - 1995. - С. 428-434
3. Никандров, В.В. Экспериментальная психология / В.В. Никандров. - «Речь» изд. - М. Спб: 2003. - 480 с.

УДК 005.511; ГРНТИ 06.81.12

АНАЛИЗ ЧУВСТВИТЕЛЬНОСТИ БИЗНЕС-ПЛАНОВ ИНВЕСТИЦИОННЫХ ПРОЕКТОВ

Е.В. Сухарев, Ю.А. Сосулин

*Рязанский государственный радиотехнический университет имени В.Ф. Уткина,
Российская Федерация, Рязань, suevgeni@mail.com, sosulin45@mail.ru*

Аннотация. В работе рассматриваются вопросы анализа чувствительности показателей эффективности инвестиционных проектов к возможным изменениям параметров планирования. Предлагается для решения задач, связанных с анализом чувствительности бизнес-планов инвестиционных проектов, построение многофакторных полиномиальных регрессионных моделей, определяющих зависимость исследуемых показателей от основных параметров планирования.

Ключевые слова: бизнес-план, инвестиционный проект, регрессионный анализ, планирование эксперимента, показатели эффективности инвестиционных проектов.

SENSITIVITY ANALYSIS OF BUSINESS PLANS

E.V. Sukharev, Y.A. Sosulin

*Ryazan State Radio Engineering University named after V.F. Utkin,
Russia, Ryazan, suevgeni@mail.com, sosulin45@mail.ru*

The summary. The paper considers the issues of analyzing the sensitivity of the performance indicators of investment projects to possible changes in planning parameters. It is proposed to solve problems related to the sensitivity analysis of business plans of investment projects, the construction of multifactorial polynomial regression models that determine the dependence of the studied indicators on the main planning parameters.

Keywords: business plan, investment project, regression analysis, experiment planning, performance indicators of investment projects.

В связи с ростом объема инвестиций в сфере производства и услуг возникает потребность в разработке и использовании методов делового планирования и инвестиционного анализа, отвечающих современным требованиям. Планирование и анализ инвестиционной деятельности предприятия является неременным условием его успешного функционирования [1]. Анализ эффективности инвестиционного проекта состоит в оценке финансовой эффективности, эффективности инвестиций, а также в оценке чувствительности проекта к изменениям параметров, принятых при разработке бизнес-плана.

Эффективность инвестиционного проекта характеризуется рядом финансовых показателей, определяемых на основе данных баланса предприятия, отчета о прибылях и убытках, а также плана денежных потоков. С помощью этих показателей оцениваются эффективность операционной деятельности предприятия, его текущее и перспективное финансовое состояние.

Получаемые в расчетах показатели эффективности инвестиций обладают определенной чувствительностью к возможным изменениям внутренних и внешних факторов бизнес-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, тем выше его устойчивость по отношению к возможным изменениям факторов, оказывающих влияние на результаты реализации проекта. При анализе чувствительности в качестве показателей эффективности инвестиций обычно используются индекс прибыльности, срок окупаемости, внутренняя норма рентабельности и др. К факторам бизнес-планирования относятся цены, объемы продаж, общие и прямые затраты, показатели внешнего экономического окружения и т.п.

Анализ чувствительности традиционно выполняется поочередным отдельным варьированием значений параметров планирования. При этом варьируется в определенных грани-

цах лишь один фактор, при закреплении остальные на конкретном, принятом в расчетах, базовом уровне. Для каждого значения варьируемого фактора и базовых значений остальных факторов вычисляются соответствующие значения выбранного показателя эффективности и представляются в табличной либо графической форме. На основе анализа полученных данных могут быть определены пороговые значения для каждого из параметров, при нарушении которых инвестиционный проект теряет эффективность по отношению к выбранному показателю.

Точность определения пороговых значений параметров планирования при таком методе анализа чувствительности будет определяться выбранным шагом варьирования факторов.

Очевидно, что такой однофакторный анализ будет давать неадекватные оценки устойчивости инвестиционного проекта. Получаемые при этом граничные значения одного из параметров будут существенно зависеть от уровней, на которых фиксируются остальные факторы бизнес-планирования. При существенном отклонении значений параметров планирования от принятых в расчетах базовых уровней необходим полный пересчет бизнес-плана и анализ чувствительности с новыми значениями факторов планирования.

Однофакторный анализ не гарантирует адекватного отображения поведения рынка. В практических ситуациях изменяются, как правило, несколько параметров инвестиционного анализа одновременно. При этом выводы, получаемые с использованием традиционных методов и программных средств относительно устойчивости инвестиционного проекта, теряют свою обоснованность.

В работе рассматривается метод многофакторного анализа чувствительности инвестиционных проектов. Предлагается установить зависимость анализируемого показателя эффективности инвестиционного проекта не от одного, а от нескольких параметров планирования, оказывающих наиболее существенное влияние на исследуемый показатель.

Представляется целесообразным определить эти зависимости в количественной форме, т.е. в виде математической модели, связывающей интересующий нас показатель с параметрами инвестиционного планирования. Для решения такой задачи можно использовать экспериментально-статистический подход, позволяющий получить модель исследуемого объекта по экспериментальным данным [2]. При этом предполагается, что модель представляется полиномиальной регрессионной зависимостью известного вида:

$$y(\vec{x}) = \beta_0 + \sum_{i=1}^m \beta_i x_i + \sum_{i=1}^{m-1} \sum_{j=i+1}^m \beta_{ij} x_i x_j + \sum_{i=1}^m \beta_{ii} x_i^2 + \dots,$$

где y - показатель эффективности проекта;

x - факторы бизнес-планирования;

β - коэффициенты регрессии.

Регрессионная модель может быть построена как для натуральных, так и для нормированных значений факторов. В случае нормировки диапазон, определяемый минимальным и максимальным значениями каждого фактора, преобразуется в относительный диапазон, определяемый интервалом $(-1, +1)$. В этом случае факторы имеют одинаковый масштаб, и коэффициенты регрессии непосредственно показывают, насколько сильно тот или иной фактор влияет на анализируемый показатель эффективности.

Рекомендуется на начальных этапах исследования включать в регрессионную зависимость для каждого исследуемого показателя эффективности инвестиций 2-3 наиболее значимых фактора планирования, а порядок модели принимать не выше второго. Данные условия позволяют получить работоспособную многофакторную регрессионную зависимость с приемлемым уровнем необходимых для ее построения экспериментальных затрат.

Для получения экспериментальных данных, необходимых для оценивания коэффициентов функции регрессии, предлагается использовать корпоративную финансовую модель предприятия. Такая модель представляется в виде денежных потоков предприятия и формируется любым известным программным пакетом планирования и анализа инвестиций. Корпоративная модель позволяет получить значения всей совокупности показателей эффективности инвестиций в любой точке факторного пространства, образованного допустимыми значениями параметров планирования.

Предлагаемая методика многофакторного анализа чувствительности инвестиционных проектов заключается в совместном варьировании параметров планирования на заданных уровнях и использовании получаемых при этом значений показателей эффективности инвестиций для построения требуемых регрессионных моделей. Уровни, на которых устанавливаются факторы, и порядок их варьирования определяются планом эксперимента.

Наиболее просто задача планирования решается при использовании полного факторного эксперимента (ПФЭ) или дробного факторного эксперимента (ДФЭ). В последнем случае обеспечиваются минимально возможные экспериментальные затраты на получение регрессионной модели заданного вида.

Оценки коэффициентов регрессионного уравнения по данным выполненного таким образом машинного эксперимента можно получить с помощью любого программного пакета статистического анализа [3].

Полученные в результате регрессионные 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.

Точность определения граничных значений параметров инвестиционного планирования определяется используемыми в расчетах экспериментальными данными.

Построенная система регрессионных моделей для различных показателей эффективности проекта позволяет получить границы обобщенной области устойчивости в факторном пространстве, в пределах которой все рассматриваемые показатели эффективности сохраняют приемлемые значения.

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 005.511; ГРНТИ 06.81.12

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;

$X = (x_1, x_2, \dots, x_m)^T$ – 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 \mathbf{b} вектора неизвестных коэффициентов β могут быть получены в соответствии со следующим выражением [1]:

$$\mathbf{b} = (\mathbf{F}^T \mathbf{F})^{-1} \mathbf{F}^T \mathbf{y}. \quad (3)$$

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 \mathbf{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 \mathbf{F} , то есть от плана эксперимента [2].

В зависимости от целей экспериментально-статистического исследования, вида регрессионной модели, имеющихся 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 $\mathbf{C} = (\mathbf{F}^T \mathbf{F})^{-1}$ 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 \mathbf{C} эквивалентно требованию максимальной величины определителя информационной матрицы $\mathbf{M} = (\mathbf{F}^T \mathbf{F})$. Таким образом, оптимальный план ε^* , удовлетворяющий критерию D-оптимальности, может быть определен с помощью следующих эквивалентных условий:

$$|\mathbf{C}(\varepsilon^*)| = \min_{\varepsilon \in Q_X} |\mathbf{C}(\varepsilon)| = \min_{\varepsilon \in Q_X} |\mathbf{F}^T \mathbf{F}|^{-1}; \quad (5)$$

$$|\mathbf{M}(\varepsilon^*)| = \max_{\varepsilon \in Q_X} |\mathbf{M}(\varepsilon)| = \max_{\varepsilon \in Q_X} |\mathbf{F}^T \mathbf{F}|. \quad (6)$$

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;

$\xi_i, i=1, 2, \dots, n$ – 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

$$r_i = \xi_i N = [(N-n) \xi_i^*]^+, \quad i=1, 2, \dots, n. \quad (9)$$

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

εN_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 εN_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 εN_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 εN_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 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

$$\max_{x_j^* \in Q_x} \left| M(\varepsilon^0(N-1)) + f(x_j) f^T(x_j) \right|,$$

окончательно включается в план ε_{N-10} и получается план ε_{N1} 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 681.51

ГИБРИДНАЯ СИСТЕМА АДАПТИВНО-РОБАСТНОГО УПРАВЛЕНИЯ МНОГОРЕЖИМНЫМ ПАРАМЕТРИЧЕСКИ И СТРУКТУРНО НЕОПРЕДЕЛЕННЫМ ОБЪЕКТОМ

С.А. Смирнова

*Амурский государственный университет,
Российская Федерация, Благовещенск, sofya-books-1999@mail.ru*

Аннотация. В работе рассматривается задача построения дискретных алгоритмов системы децентрализованного комбинированного управления для многосвязного структурно-параметрически неопределенного объекта на множестве состояний функционирования. Данная задача решается по средствам использования критерия гиперустойчивости и условий L-диссипативности, а также метода непрерывных моделей.

Ключевые слова: гибридная система, децентрализованный комбинированный регулятор, многосвязный объект управления с переключениями, структурно-параметрическая неопределенность, критерий гиперустойчивости, задающий и выходной фильтр-корректоры, метод непрерывных моделей.

HYBRID SYSTEM OF ADAPTIVE-ROBAST CONTROL OF A MULTI-MODE PARAMETRICALLY AND STRUCTURALLY UNDETERMINATED PLANT

S.A. Smirnova

*Amur State University,
Russia, Blagoveshchensk, sofya-books-1999@mail.ru*

The summary. The paper considers the problem of constructing discrete algorithms for a decentralized combined control system for a multiply connected structurally-parametrically indefinite plant on a set of functioning states. This problem is solved by means of using the hyperstability criterion and L-dissipativity conditions, as well as the method of continuous models.

Keywords: hybrid system, decentralized combined controller, multiply connected control plant with switching, structural-parametric uncertainty, hyperstability criterion, input and output filter-correctors, method of continuous models.

На современном этапе развития теории управления актуальными остаются задачи построения универсальных регуляторов для многосвязных объектов управления, функционирующих в условиях априорной неопределенности, переключаемости, нестационарности и действии внешних помех. Известно, что с помощью критерия гиперустойчивости и условий L-диссипативности для данного класса объектов можно синтезировать непрерывную децентрализованную комбинированную систему управления с высокими показателями качества. Но, в связи с тем, что для реализации законов управления используются средства цифровой электроники, целесообразно преобразовать разработанную ранее непрерывную систему управления [1] в дискретно-непрерывную, согласно методу непрерывных моделей.

В данной статье с использованием результатов работы [1 – 3] и метода непрерывных моделей [4] рассматривается задача построения гибридной системы децентрализованного комбинированного управления многосвязным и многорежимным объектом в условиях структурной и параметрической неопределенности.

Математическое описание непрерывной системы управления

Опираясь на результаты статьи [1], опишем непрерывную систему управления. В системе рассматривается многосвязный объект управления (МОУ), каждая подсистема которого в произвольные моменты времени $0 = t_0 < t_{1_i} < \dots < t_{k_i}$ осуществляет переключения и может быть записана составными системами уравнений в пространстве состояний:

$$\begin{aligned} \frac{dx_i^{(k)}(t)}{dt} &= A_i^{(k)} x_i^{(k)}(t) + B_i^{(k)} g_i^{(k)}(t), y_i^{(k)}(t) = (C_{0i}^{(k)})^T x_i^{(k)}(t), \\ g_i^{(k)}(t) &= (1 + \beta_i^{(k)}(t)) \left(u_i^{(k)}(t) + f_i^{(k)}(t) + Y_i^{(k)}(t) + (C_{0i}^{(k)})^T \tilde{x}_i^{(k)}(t) \right), \end{aligned} \quad (1)$$

где $i = 1, 2, \dots, l$ – номер локальной подсистемы объекта управления (ПОУ);

$k_i = 1, 2, \dots, K_i$ – ограниченное количество интервалов времени $T_{k_i} = (t_{k_i} - t_{k_i-1})$ ПОУ;

$A_i^{(k)}$ – стационарные матрицы размера $n_i \times n_i$;

$B_i^{(k)} = \begin{bmatrix} 0 & 0 & \dots & 0 & b_{0i}^{(k)} & \dots & b_{(m_i)i}^{(k)} \end{bmatrix}^T$ – вектора размерности $n_i \times 1$;

$\beta_i^{(k)}(t)$ – ограниченные временные функции $\underline{\beta}_i^{(k)} \leq \beta_i^{(k)}(t) \leq \bar{\beta}_i^{(k)}$, причем $\bar{\beta}_i^{(k)}, \underline{\beta}_i^{(k)} = \text{const} > 0$;

$C_{0i}^{(k)} = \begin{bmatrix} 1 & 0 & \dots & 0 \end{bmatrix}^T$ – векторы выхода размерности $n_i \times 1$;

$f_i^{(k)}(t)$ – сигнал внешних возмущений, ограниченный по величине $|f_i^{(k)}(t)| \leq f_i^+ = \text{const}$;

$Y_i^{(k)}(t) = \sum_{j=1}^l \varphi_{ji}(y_j^{(k)}(t)), i \neq j$; $\varphi_{ji}(y_j^{(k)}(t)) \leq \varphi_{ji}^+$ – сигнал перекрестной связи, $\varphi_{ji}^+ > 0$ – известные числа;

$x_i^{(k)}(t) = \begin{bmatrix} x_{1i}^{(k)}(t) & x_{2i}^{(k)}(t) & \dots & x_{(n_i)i}^{(k)}(t) \end{bmatrix}^T$ – вектор переменных состояния;

$u_i^{(k)}(t), y_i^{(k)}(t)$ – скалярное управление и выход i -й ПОУ. При этом его работа протекает при выполнении следующих условий:

1. Передаточные функции линейных звеньев МОУ имеют вид:

$$y_i^{(k)}(s) = W_{\text{ПОВ}i}(s) g_i^{(k)}(s) = \frac{b_i^{(k)}(s)}{a_i^{(k)}(s)} g_i^{(k)}(s), \quad (2)$$

где $W_{\text{ПОВ}i}(s)$ – передаточные функции ПОУ;

$b_i^{(k)}(s) = b_{0i}^{(k)} s^{m_i^{(k)}} + b_{1i}^{(k)} s^{m_i^{(k)}-1} + \dots + b_{m_i^{(k)}}^{(k)}$ – гурвицевы полиномы;

$a_i^{(k)}(s) = s^{n_i} + a_{1i}^{(k)} s^{n_i-1} + \dots + a_{n_i}^{(k)}$ – полиномы с произвольным расположением корней;

s – комплексная переменная.

Откуда видно, что числитель передаточной функции ПОУ имеет степень $m_i^{(k)}$, которая на временных интервалах T_{k_i} может принимать любое значение в диапазоне $0 \leq m_{0i} \leq m_i^{(k)} \leq n_i - 1$, с известными величинами m_{0i} и n_i .

2. Только локальные выходные сигналы $y_i^{(k)}(t)$ являются полностью измеряемыми.

В силу того, что МОУ (1) может принимать значения относительных степеней в диапазоне $\rho_i^{(k)} \in [1; n_i - m_{0i}]$, имеет место введение дополнительных звеньев – выходных фильтр-корректоров (ВФК):

$$y_{\phi i}^{(k)}(s) = W_{\text{ВФК}i}(s) y_i^{(k)}(s) = \frac{(T_i s + 1)^{n_i - m_{0i} - 1}}{(T_{*i} s + 1)^{n_i - m_{0i} - 1}} y_i^{(k)}(s), \quad (3)$$

где s – комплексная переменная;

$y_i^{(k)}(s)$ и $y_{\phi i}^{(k)}(s)$ – входной и выходной сигнал ВФК;

$W_{B\Phi Ki}$ – передаточные функции ВФК;

T_{*i} и T_i – постоянные времени, причем T_{*i} [3] – достаточно малые величины. В результате действия которых, МОУ записывается в расширенном в пространстве состояний:

$$\frac{d\tilde{x}_i^{(k)}(t)}{dt} = \tilde{A}_i^{(k)} \tilde{x}_i^{(k)}(t) + \tilde{B}_i^{(k)} \mathcal{G}_i^{(k)}(t), \tilde{y}_i^{(k)}(t) = \left(\tilde{C}_{0i}^{(k)} \right)^T \tilde{x}_i^{(k)}(t), \quad (4)$$

где $\tilde{A}_i^{(k)}$ – матрицы размера $(\rho_i^+ + m_i^{(k)}) \times (\rho_i^+ + m_i^{(k)})$;

$\tilde{B}_i^{(k)} = \left[\tilde{b}_{0i}^{(k)} \quad \tilde{b}_{1i}^{(k)} \quad \dots \quad \tilde{b}_{(\rho_i^+ + m_i^{(k)} - 1)i}^{(k)} \right]^T$ – вектора размерности $(\rho_i^+ + m_i^{(k)}) \times 1$;

$\tilde{C}_{0i}^{(k)} = [1 \quad 0 \quad \dots \quad 0]^T$ – вектора выхода размерности $(\rho_i^+ + m_i^{(k)}) \times 1$;

$\tilde{x}_i^{(k)}(t) = \left[\tilde{x}_{1i}^{(k)}(t) \quad \tilde{x}_{2i}^{(k)}(t) \quad \dots \quad \tilde{x}_{(\rho_i^+ + m_i^{(k)})i}^{(k)}(t) \right]^T$ – векторы переменных состояния ПОУ;

$\tilde{y}_i^{(k)}(t)$ – скалярные выходы видеоизмененных ПОУ.

Формирование требуемого характера изменений выходов $\tilde{y}_i^{(k)}(t)$ МОУ (4) происходит за счет ввода в систему задающих фильтр-корректоров (ЗФК):

$$\tilde{r}_i(s) = W_{3\Phi Ki}(s) r_i(s) = \frac{(T_i s + 1)^{n_i - m_{0i} - 1}}{(T_{*i} s + 1)^{n_i - m_{0i} - 1}} r_i(s), \quad (5)$$

где $W_{3\Phi Ki}$ – передаточные функции ЗФК, эквивалентны ранее описанным ВФК (3). С учетом их действия неявная эталонная модель описывается уравнениями следующего вида:

$$\frac{d\tilde{x}_{mi}^{(k)}(t)}{dt} = \tilde{A}_{mi}^{(k)} \tilde{x}_{mi}^{(k)}(t) + \tilde{\chi}_{*i}^{(k)} \tilde{B}_{0i}^{(k)} \tilde{r}_i(t), \tilde{y}_{mi}^{(k)}(t) = \tilde{g}_i^{(k)T} \tilde{x}_{mi}^{(k)}(t), \quad (6)$$

где $\tilde{x}_{mi}^{(k)}(t) = \left[\tilde{x}_{1mi}^{(k)}(t) \quad \tilde{x}_{2mi}^{(k)}(t) \quad \dots \quad \tilde{x}_{(\rho_i^+ + m_i^{(k)})mi}^{(k)}(t) \right]^T$ – векторы переменных состояния НЭМ;

$\tilde{A}_{mi}^{(k)} = \tilde{A}_i^{(k)} + \chi_{*i}^{(k)} \tilde{B}_{0i}^{(k)} \tilde{g}_i^{(k)T}$ – эталонные матрицы состояний;

$\chi_{*i}^{(k)}, \tilde{\chi}_{*i}^{(k)} = const \gg 0$ – большие числа, в соответствии с [1, 3];

$\tilde{y}_{mi}^{(k)}(t)$ – выходы НЭМ.

Завершающим этапом описания непрерывной системы является аналитическая запись структуры децентрализованного адаптивно-робастного регулятора:

$$\begin{aligned} u_i^{(k)}(t) &= h_{11i} \tilde{r}_i(t) \int_0^t \tilde{r}_i(v) v_i^{(k)}(v) dv + h_{12i} (\tilde{r}_i(t))^2 v_i^{(k)}(t) + h_{21i} \int_0^t v_i^{(k)}(v) dv + \\ &+ h_{22i} v_i^{(k)}(t) + h_{31i} \tilde{y}_{isat}^{(k)}(t) \int_0^t \tilde{y}_i^{(k)}(v) v_i^{(k)}(v) dv + h_{32i} \left(\tilde{y}_{isat}^{(k)}(t) \right)^2 v_i^{(k)}(t), \\ v_i^{(k)}(t) &= \tilde{r}_i(t) - \tilde{y}_{isat}^{(k)}(t), \\ \tilde{y}_{isat}^{(k)}(t) &= sat\left(\tilde{y}_i^{(k)}(t)\right) = \begin{cases} -\Delta_i & \text{при } \tilde{y}_i^{(k)}(t) \leq -\Delta_i \\ \tilde{y}_i^{(k)}(t) & \text{при } |\tilde{y}_i^{(k)}(t)| < \Delta_i \\ \Delta_i & \text{при } \tilde{y}_i^{(k)}(t) \geq \Delta_i \end{cases} \end{aligned} \quad (7)$$

где $h_{11i}, h_{12i}, h_{21i}, h_{22i}, h_{31i}, h_{32i}, \Delta_i = const > 0$, синтезированного по критерию гиперустойчивости и условиям L-диссипативности. Такая структура обеспечивает эффективное отслеживание выходов ПОУ, т.е. выполнение неравенств:

$$\left| r_i(t) - y_i^{(k)}(t) \right| \leq \delta_{0i} = const, \text{ при } t \rightarrow \infty, \quad (8)$$

где δ_{0i} – максимально допустимая ошибка.

Гибридная система децентрализованного комбинированного управления

Осуществить переход от описанной выше непрерывной системы управления (1), (3), (5), (6), (7) к дискретно-непрерывной можно с помощью метода непрерывных моделей [4, 5]. Для этого представим дискретные аналоги непрерывных сигналов следующим образом:

$$\begin{aligned} y_i^{(k)}(t) = y_i^{(k)}(t_n) = y_{i,n}^{(k)}, y_{\phi i}^{(k)}(t) = y_{\phi i}^{(k)}(t_n) = y_{\phi i,n}^{(k)}, \tilde{y}_{isat}^{(k)}(t) = \tilde{y}_{isat}^{(k)}(t_n) = \tilde{y}_{isat,n}^{(k)}, \\ y_{mi}^{(k)}(t) = y_{mi}^{(k)}(t_n) = y_{mi,n}^{(k)}, r_i(t) = r_i(t_n) = r_{i,n}, \tilde{r}_i(t) = \tilde{r}_i(t_n) = \tilde{r}_{i,n}, u_i^{(k)}(t) = u_i^{(k)}(t_n) = u_{i,n}^{(k)}, \end{aligned} \quad (9)$$

где $t_n = n\lambda$ – дискретное время;

$n = 1, 2, 3, \dots$ – номер шага;

λ – период дискретизации, и сформулируем целевые условия новой гибридной системы управления.

Постановка задачи синтеза непрерывно-дискретной системы управления: для МОУ (1), функционирующего в условиях действия априорной неопределенности, необходимо синтезировать дискретный закон управления $u_{i,n}^{(k)} = u(\tilde{y}_{i,n}^{(k)}, \tilde{r}_{i,n}^{(k)})$, такой, чтобы при любых начальных условиях, измерении выхода $y_{i,n}^{(k)}$ ПОУ, наличии перекрестных связей, переключений, а также ограниченных внешних помех, было возможно при $n \rightarrow \infty$ выполнение целевых неравенств:

$$\left| r_{i,n} - y_{i,n}^{(k)} \right| \leq \delta_{0i,n} = const > 0, \text{ при } n \rightarrow \infty, \quad (10)$$

где $\delta_{0i,n}$ – максимально допустимая ошибка.

После выполнения дискретизации непрерывных сигналов (9), в соответствии с методом непрерывных моделей, дискретно-непрерывную систему можно записать следующим образом:

- непрерывный объект управления (1);
- цифровые выходной и задающий фильтр-корректоры: для получения дискретных передаточных функций фильтр-корректоров (3), (5) используем метод Эйлера (заменяем s на $\frac{z-1}{\lambda z}$):

$$W_{B\Phi Ki}(z) = W_{B\Phi Ki}(z) = \left(\frac{T_i \left(\frac{z-1}{\lambda z} \right) + 1}{T_{*i} \left(\frac{z-1}{\lambda z} \right) + 1} \right)^{\rho_i^+ - 1} = \left(\frac{(T_i - \lambda)z - T_i}{(T_{*i} - \lambda)z - T_{*i}} \right)^{\rho_i^+ - 1}; \quad (11)$$

– *дискретный регулятор*: представим децентрализованный комбинированный регулятор (7) в виде:

$$\begin{aligned}
 u_{i,n}^{(k)} = & h_{11i,n} \tilde{r}_{i,n} \left(\tilde{r}_{i,n-1} v_{i,n-1}^{(k)} + \lambda \tilde{r}_{i,n} v_{i,n}^{(k)} \right) + h_{12i,n} \left(\tilde{r}_{i,n} \right)^2 v_{i,n}^{(k)} + \\
 & + h_{21i,n} \left(v_{i,n-1}^{(k)} + \lambda v_{i,n}^{(k)} \right) + h_{22i,n} v_{i,n}^{(k)} + \\
 & + h_{31i,n} \tilde{y}_{isat,n}^{(k)} \left(\tilde{y}_{isat,n-1}^{(k)} v_{i,n-1}^{(k)} + \lambda \tilde{y}_{isat,n}^{(k)} v_{i,n}^{(k)} \right) + \\
 & + h_{32i,n} \left(\tilde{y}_{isat,n}^{(k)} \right)^2 v_{i,n}^{(k)}, \\
 v_{i,n}^{(k)} = & \tilde{r}_{i,n} - \tilde{y}_{isat,n}^{(k)},
 \end{aligned} \tag{12}$$

где $h_{11i,n}, h_{12i,n}, h_{21i,n}, h_{22i,n}, h_{31i,n}, h_{32i,n} = const > 0$.

Пример работы гибридной системы управления

Проиллюстрировать качество разработанной гибридной системы управления можно с помощью проведения имитационного моделирования в среде разработки Matlab-Simulink. В качестве примера рассмотрим двухсвязный нестационарный объект управления с переключениями, для которого имеют место следующие параметры.

Первая подсистема осуществляет два переключения в моменты времени $t = 30, t = 60$, в результате которых изменениям подвергаются ее параметры и структура:

$$\begin{aligned}
 A_1^{(1)} = & \begin{pmatrix} -1 & 1 & 0 \\ 1.7 & 0 & 1 \\ -1.3 & 0 & 0 \end{pmatrix}, A_1^{(2)} = \begin{pmatrix} 1.7 & 1 & 0 \\ -2.5 & 0 & 1 \\ 1.6 & 0 & 0 \end{pmatrix}, A_1^{(3)} = \begin{pmatrix} -0.4 & 1 & 0 \\ -1.3 & 0 & 1 \\ -2 & 0 & 0 \end{pmatrix}; \\
 (B_1^{(1)})^T = & [0 \quad 2.4 \quad 1.2], (B_1^{(2)})^T = [0 \quad 0 \quad 1.8], (B_1^{(3)})^T = [0 \quad 0.2 \quad 2.2]; \\
 \beta_1^{(1)}(t) = & 1.4 + 1.2 \sin^2(t), \beta_1^{(2)}(t) = 1 - 0.5 \cos^2(2t), \beta_1^{(3)}(t) = 1 + 0.2 \cos(t); \\
 Y_1^{(k)}(t) = & 0.5 \sin(1.4 y_2^{(k)}(t)); \\
 f_1^{(1)}(t) = & 1.1 \sin(t) + 2 \sin(0.7t), f_1^{(2)}(t) = 1.2 \sin(0.5t), f_1^{(3)}(t) = 0.9 \cos(t) \sin(0.5t).
 \end{aligned} \tag{13}$$

Аналогично первой подсистеме, *вторая подсистема* осуществляет два переключения, но в моменты времени $t = 40, t = 65$:

$$\begin{aligned}
A_2^{(1)} &= \begin{pmatrix} 1.5 & 1 & 0 \\ 1.2 & 0 & 1 \\ 2.9 & 0 & 0 \end{pmatrix}, A_2^{(2)} = \begin{pmatrix} 1.3 & 1 & 0 \\ -2.2 & 0 & 1 \\ -3.4 & 0 & 0 \end{pmatrix}, A_2^{(3)} = \begin{pmatrix} 1.6 & 1 & 0 \\ -0.7 & 0 & 1 \\ 1.8 & 0 & 0 \end{pmatrix}; \\
(B_2^{(1)})^T &= [0.3 \quad 1 \quad 1.7], (B_2^{(2)})^T = [0 \quad 1.2 \quad 0.3], (B_2^{(3)})^T = [0.25 \quad 1 \quad 0.5]; \\
\beta_2^{(1)}(t) &= 1 + 0.3 \sin(t), \beta_2^{(2)}(t) = 3.4 - 2.1 \cos^2(2t), \beta_2^{(3)}(t) = 1.8 - 1.5 \cos(t); \\
Y_2^{(k)}(t) &= 3.1 \sin(2y_1^{(k)}(t)); \\
f_2^{(1)}(t) &= 1.4 \cos(0.6t) \sin(0.2t), f_2^{(2)}(t) = 1.25 \cos(0.7t), f_2^{(3)}(t) = 0.1 \sin(0.5t).
\end{aligned} \tag{14}$$

Данные подсистемы в соответствии с целевым условием (10) должны отслеживать задающие сигналы вида:

$$r_1(t_n) = 0.3 \sin(0.25t_n) - 0.5 \sin(0.5t_n), r_2(t_n) = 0.5 \sin(0.3t_n) + 0.2 \cos(0.7t_n), \tag{15}$$

с помощью задания передаточных функций ЗФК (5) и ВФК (3):

$$W_{ВФК1}(z) = W_{ВФК1}(z) = \left(\frac{(0.1 - \lambda)z - 0.1}{(0.008 - \lambda)z - 0.008} \right)^2, W_{ВФК2}(z) = W_{ВФК2}(z) = \frac{(0.1 - \lambda)z - 0.1}{(0.035 - \lambda)z - 0.035}; \tag{16}$$

а также следующих коэффициентов комбинированного регулятора (12):

$$\begin{aligned}
h_{11(1)} &= 2810, h_{12(1)} = 110, h_{21(1)} = 225, h_{22(1)} = 10, h_{31(1)} = 220, h_{32(1)} = 1, \Delta_1 = 10; \\
h_{11(2)} &= 1700, h_{12(2)} = 30, h_{21(2)} = 250, h_{22(2)} = 10, h_{31(2)} = 150, h_{32(2)} = 2, \Delta_2 = 10.
\end{aligned} \tag{17}$$

На рисунке 1 – 3 показаны некоторые динамические характеристики построенной гибридной системы управления с предельным периодом дискретизации $\lambda = 0.01045$, полученным в результате проведения ряда вычислительных экспериментов при заданных параметрах контура управления (17).

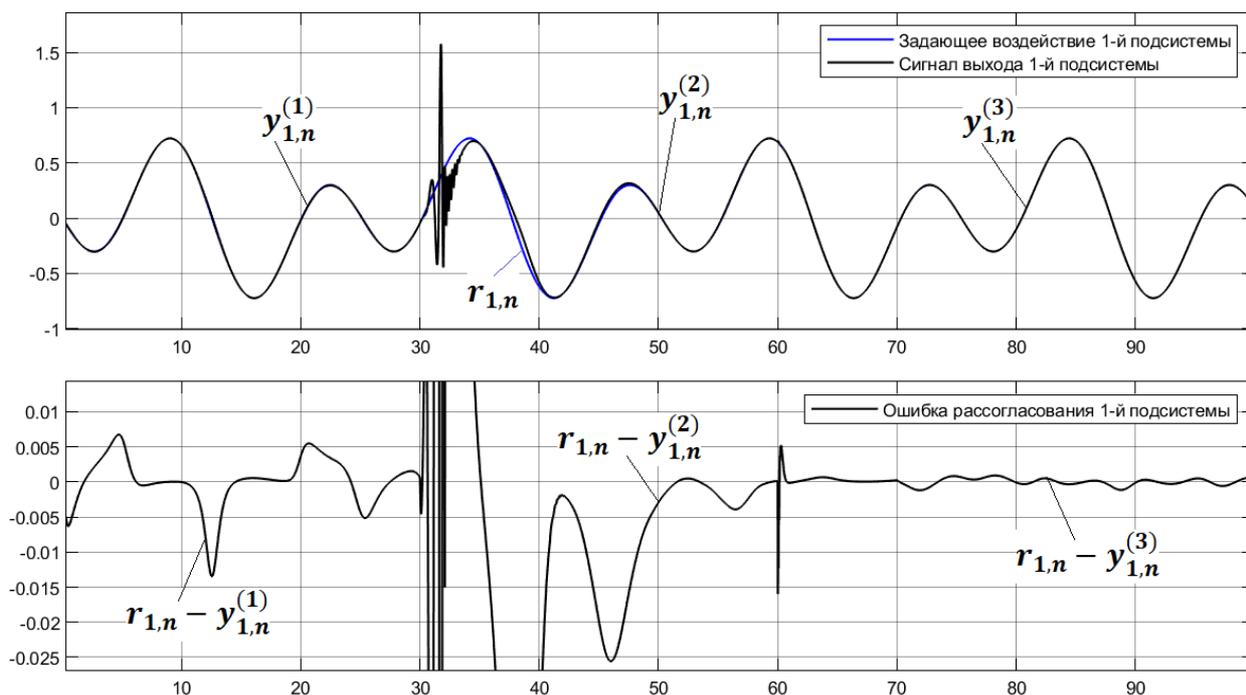


Рис. 1. Сигналы задающего воздействия, выхода 1-й подсистемы МОУ и ошибка рассогласования

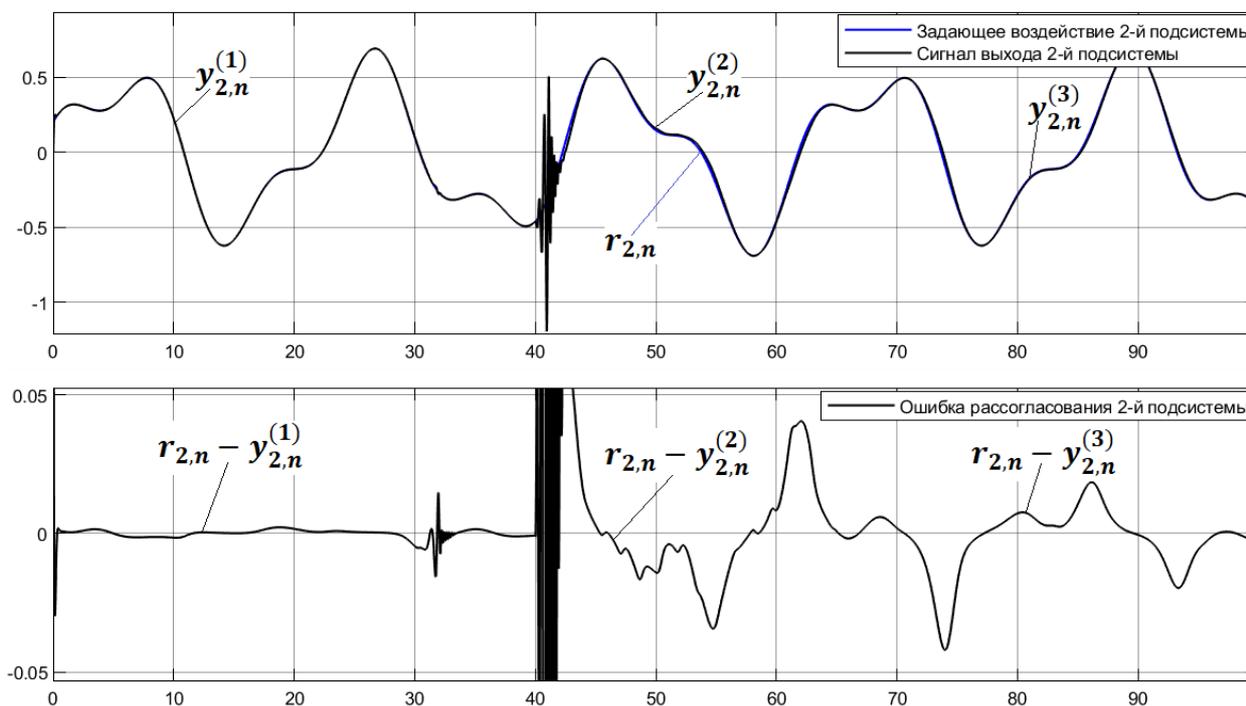


Рис. 2. Сигналы задающего воздействия и выхода 2-й подсистемы МОУ и ошибка рассогласования

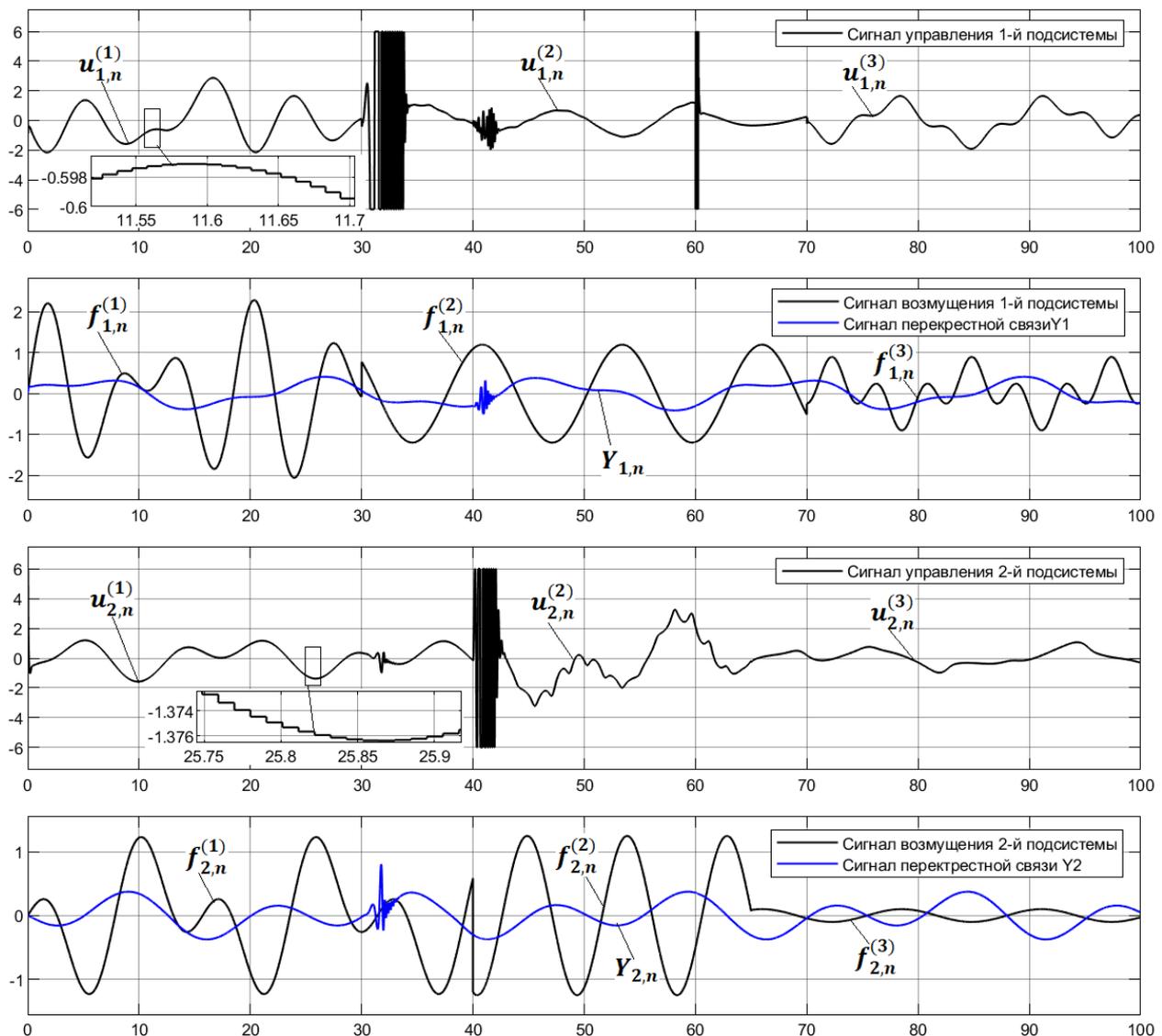


Рис. 3. Сигнал управления, возмущения и перекрестных связей ПОУ

На графиках в моменты переключений наблюдаются всплески за счет изменения параметров и/или структуры ПОУ, а также действия перекрестных связей. Представленные результаты свидетельствуют о достаточно точной работе системы управления, так как ошибки рассогласования задающих воздействий и выходов подсистем управления малы: в первой подсистеме она не превышает 0.01, а во второй – 0.05.

Заключение

В результате использования метода непрерывных моделей для непрерывной системы управления (12), синтезированной на основе критерия гиперустойчивости и условий L -диссипативности, решена задача построения гибридной системы управления многосвязным и многорежимным объектом, функционирующим в условиях структурной и параметрической неопределенности. Приведенный пример имитационного моделирования в среде разработки Matlab-Simulink показывает, что синтезированный дискретный регулятор обеспечивает достаточно высокое качество функционирования.

Библиографический список

1. Смирнова, С. А. Децентрализованное комбинированное управление многосвязным структурно и параметрически неопределенным объектом / С.А. Смирнова // Информатика и системы управления. – 2022. – №2(72). – С. 89-102.
2. Еремин Е.Л., Шеленок Е.А. Гибридная система нелинейного управления неаффинным объектом с запаздыванием по состоянию в периодических режимах // Информатика и системы управления. - 2019. - № 4(62). - С. 120-131.
3. Еремин, Е. Л. Метод большого коэффициента усиления в задаче самоорганизации систем управления структурно неопределенными линейными объектами с переключениями. I / Е. Л. Еремин // Информатика и системы управления. – 2021. – № 4(70). – С. 95-109.
4. Деревицкий Д.П., Фрадков А.Л. Прикладная теория дискретных адаптивных систем управления. – М.: Наука, 1981.
5. Еремин Е.Л., Лелянов Б.Н., Шеленок Е.А. Дискретные алгоритмы робастного управления нелинейно-нестационарным объектом в периодических режимах // Вестник Тихоокеанского государственного университета. – 2010. – № 1(16). – С. 45-54.

УДК 621.791.947.55; ГРНТИ 55.19.13

ОПРЕДЕЛЕНИЕ НЕОБХОДИМОЙ ТОЧНОСТИ МЕХАНИЗМОВ СТАНКА С ЧПУ ДЛЯ ПЛАЗМЕННОЙ РЕЗКИ

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 достижения необходимой точности станка с ЧПУ. Описываются виды используемых передач, приводятся их основные особенности, целесообразность использования, а также принцип работы.

Ключевые слова: станок ЧПУ, шарико-винтовая передача (ШВП), реечная передача, координаты перемещения, плазменная резка.

DETERMINATION OF THE REQUIRED ACCURACY 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 discusses ways to achieve the necessary precision of a CNC machine. The types of gears used are described, their main features are given, the expediency of use, as well as the principle of operation.

Keywords: CNC machine, ball-screw transmission (ballscrew), rack and pinion transmission, displacement coordinates, plasma cutting.

Одной из важнейших задач на современных предприятиях является обработка и резка различных материалов. Данная проблема в себя включает такие факторы как точность, быстрота обработки, финансовые затраты. Как известно, чем точнее станок ЧПУ, тем больше его стоимость. Точность станка с ЧПУ зависит от качества обслуживания, сборки, применяемых комплектующих.

В данной статье будет рассмотрено и определено какой необходимой точностью должны обладать станки с ЧПУ плазменной резки. На данный момент плазменная резка применяется во многих отраслях промышленности, так как является универсальным и неприхотливым инструментом при раскрое заготовок. Необходимая точность обеспечивается благодаря двигателям и видам передач вращения от двигателя к инструментам обработки. Предельные отклонения от прямолинейности, требуемые для плазменной резки представлены в ГОСТ 14792-80 [1] имеют значения от $\pm 1,0$ мм до $\pm 2,5$ мм. Станок для плазменной рез-

ки представляет собой порталное устройство, портал которого обычно перемещается вдоль стола по рельсовому пути. Так же имеется каретка, на которой размещается плазматрон.

Рассмотрим наиболее простой порталный станок для плазменной резки с тремя подвижными координатами: X - передвижение портала вдоль рабочего стола, Y - перемещение каретки перпендикулярно рабочему столу, Z – вертикальное перемещение инструмента.

Для передачи вращательного движения от двигателя можно применять различные виды передач такие как шарико-винтовая передача, зубчатая рейка с шестернёй, передача вида винт гайка. Данные виды передач в свою очередь обладают различными классами точности. Самым распространённым видом передачи является ШВП. ШВП имеет небольшие потери на трение, высокий КПД передачи. Минусом ШВП является его цена, ограничение по длине винта. Передача типа винт гайка обладает следующими характеристиками: к плюсам можно отнести простоту конструкции, малые размеры. К минусам можно отнести высокое трение в резьбе, низкий КПД передачи. Зубчатая рейка с шестернёй является наиболее простым видом передачи, к плюсам которой можно отнести высокую степень ремонтпригодности, небольшая чувствительность к металлической стружке, ценовая доступность. К минусам данной конструкции можно отнести повышенный уровень шума. [2].

Рассмотрим первую координату перемещения X , по которой перемещается портал станка и определим наиболее подходящий вид передачи. Недорогой, надёжной и в тоже время обеспечивающей необходимую точность является передача вида зубчатая рейка с шестернёй. Наибольшее распространение получили зубчатые передачи классов $C5$, $C7$ и $C8$. Погрешность зубчатой рейки на длине в 1 метр будет составлять не более 0.5 мм. Неоспоримым плюсом такой передачи является то, что главная шестерня может размещаться непосредственно на валу двигателя, и приходиться в зацепление с рейкой, минуя различные дополнительные блоки для передачи вращательного движения от двигателя. Длину рейки просто и легко можно регулировать, добавляя новые фрагменты. Применение передачи типа зубчатой рейки с шестернёй на оси X является наиболее рациональным, так как, по оси X передвигается вся конструкция портала, которая обладает немаленьким весом. Данный вид передачи имеет наиболее жёсткую конструкцию, что исключает провисание при длительной эксплуатации.

Далее рассмотрим ось Y . Для оси Y можно использовать как передачу типа зубчатая рейка с шестернёй, так и шарико-винтовую передачу. Но рациональнее использовать шарико-винтовую передачу, так как точность и плавность хода выше, а разность в стоимости является незначительной из-за того, что ширина плазменных станков варьируется от 1,5 до 3,5 метра, если рассматривать станки отечественной фирмы “Кристалл”.

Ось Z является наиболее ответственной. По данной оси перемещается в вертикальном направлении плазматрон. Роль инструмента обработки выполняет плазма. Для того, чтобы получился качественный рез и устойчивая плазменная дуга, необходимо соблюдать расстояние между плазматроном и обрабатываемой поверхностью. Данное расстояние является фокусным для плазмы и должно быть в пределах 2...7 мм. В процессе резки расстояние между плазматроном и заготовкой должно поддерживаться, изменения в высоте происходят за счёт следящей системы, данные корректировки происходят с достаточно высокой точностью, скоростью и плавностью, поэтому передача типа зубчатой реки в данном модуле не подойдёт. Поэтому для данного блока станка необходима шарико-винтовая передача. ШВП можно разделить на две группы: прецизионные и обычные. Прецизионные ШВП имеют класс точности от $C0$ по $C5$. Основное отличие их от обычных заключается в том, что в их конструкции имеются сепараторы шариков, что исключает столкновение и трение между шариками. Прецизионная точность для станка плазменной резки не является важным показателем. Для движения по оси Z можно выбрать обычные ШВП. К обычным ШВП относятся классы от $C7$ до $C10$, в данных классах погрешность длины хода определяют на отрезке 300 мм. Наиболее распространены ШВП $C7$. ШВП класса $C7$ имеют погрешность ± 50 мкм, получается, что на длине 300 мм, погрешность будет в пределах 100 мкм. Плюсами использования

ШВП в данном блоке являются то, что здесь необходима компактность и плавность хода и более строгие допуски погрешности, так как необходимо быстро и в тоже время плавно менять высоту инструмента обработки [3].

В качестве системы измерения используются оптические, магнитные линейки и круговые энкодеры. Принцип действия линейки основан на том, что считывающая головка перемещается вдоль рейки на которой нанесены риски, головка фиксирует переходы от одной риски к другой. Данная информация передаётся на АЦП, который преобразует аналоговый сигнал в цифровой, тем самым отражаются точные координаты положения. Энкодер представляет собой счётчик шагов двигателя, энкодерный датчик формирует код устройству управления точного положения вала за единицу времени.

В качестве системы измерения выберем энкодеры. Преимуществом энкодера является то, что он устанавливается непосредственно на двигатель, благодаря этому предоставляется информация о скорости вращения, пройденное расстояние, направление вращения, положение по отношению к нулевой метке. Стоимость энкодера зависит от его разрешения. Энкодер высокого разрешения – это энкодер с точностью от 10000 имп/об. Также существуют сверхточные энкодеры, разрешение таких моделей достигает до 100000 имп/об. Для станка плазменной резки подойдет энкодер высокого разрешения, точность такого энкодера составляет $\pm 0,1$ градус. Энкодеры в виде линеек обходятся дороже, и их монтаж более трудоёмок [4].

Для управления станком необходимо подобрать систему ЧПУ. Зарубежные системы ЧПУ давно зарекомендовали себя на рынке, но являются более дорогими, чем отечественные аналоги. В настоящее время существует большое количество Российских разработок систем ЧПУ, которые не уступают зарубежным аналогам ни по быстродействию, ни по точности обработки команд. Так для управления станком плазменной резки можно выбрать систему ЧПУ от отечественной компании Балт-Систем NC-210. В данной системе ЧПУ объединены в единое целое блок управления, пульт оператора, станочный пульт и программное обеспечение с высокой степенью функциональности в сочетании с низкой ценой [5].

Можно сделать небольшой вывод, что для простейшего трех координатного портального станка ЧПУ для плазменной резки применяют различные виды передач. Для станка ЧПУ плазменной резки не ставится задача обеспечивать прецизионную точность, так как обработка происходит благодаря тепловому потоку, в результате работы которого будут возникать некоторые погрешности. Поэтому является не рациональным действием применять на каждой оси дорогостоящие виды передач. Поэтому исходя из экономической выгоды можно применять различные виды передач, в нашем случае необходимую точность можно обеспечить, применяя на оси движения X зубчатую рейку, а на оси Y и Z шарико-винтовую пару. В качестве следящей системы достаточным решением будет служить круговые энкодеры высокого разрешения. В качестве системы ЧПУ применим отечественную разработку NC-210. В такой комплектации станок плазменной резки будет обеспечивать необходимую точность и максимально выгодным решением с точки зрения финансов.

Библиографический список

1. ГОСТ 14792-80. – Дата введения 30. 06. 1981. Детали и заготовки, вырезаемые кислородной и плазменно-дуговой резкой. Точность, качество поверхности реза.
2. Чередниченко, В. С. Плазменные электротехнологические установки: учебник для вузов / В. С. Чередниченко, А.С. Анынаков, М.Г. Кузьмин. – Новосибирск: НГТУ, 2011. – 600 с.
3. ЧПУ привод. Какую передачу выбрать? [Электронный ресурс]: Purelogic 2007-2023. – URL <https://purelogic.ru/articles/chpu-privod-kakuyu-peredachu-vybrat/>.
4. Комплектные системы управления. [Электронный ресурс]: URL <https://bssystem.ru/>.
5. С-АВТ автоматизация процессов резки [Электронный ресурс]: URL <https://c-avt.com/product/nc-210>.

УДК 621.817; ГРНТИ 55.13.17

ПРИМЕНЕНИЕ АДДИТИВНЫХ ТЕХНОЛОГИЙ ПРИ ИЗГОТОВЛЕНИИ ОРТЕЗОВ ОТМ

А.О. Ермичёв, Д.С. Климов, И.Н. Романов, М.В. Ленков

*Рязанский государственный радиотехнический университет имени В.Ф. Уткина,
Российская Федерация, Рязань.*

Аннотация. В обзорной работе рассмотрены стендовые образцы ортезов ОТМ01, ОТМ02, ОТМ03, технология их изготовления. Предложена модернизация ортезов ОТМ путём внедрения между слоями теплостойкого материала. Рассмотрена модель 3D принтера с большой областью печати.

Ключевые слова: аддитивные технологии, ортезы Ort_Tech_Med, Автоматизированное изготовление, 3D принтер, ортез ОТМ01, ортез ОТМ02, ортез ОТМ03.

APPLICATION OF ADDITIVE TECHNOLOGIES IN THE MANUFACTURE OF ORTHOSES OTM

A.O. Ermichev, D.S. Klimov, I.N. Romanov, M.V. Lenkov

*Ryazan State Radio Engineering University named after V.F. Utkin,
Russian Federation, Ryazan.*

Abstract. In the review paper, bench samples of orthoses OTM 01, OTM 02, OTM 03, the technology of their manufacture are considered. Modernization of OTM orthoses by introducing heat-resistant material between layers is proposed. A 3D printer model with a large print area will also be considered.

Keywords: additive technologies, orthoses Ort_Tech_Med, Automated manufacturing, 3D printer, orthosis OTM 01, orthosis OTM02, orthosis OTM03.

Люди достаточно часто сталкиваются с переломами верхних и нижних конечностей, только за последний год в России зафиксировано 1055,3 случаев перелома верхних конечностей и 711,6 случаев переломов нижних конечностей из расчета на 100 тысяч населения [1]. Когда начинается период реабилитации, человек, как правило приходит к использованию гипса, но он вызывает целый перечень проблем:

- Некачественное сращивание костей
- Невозможность соблюдения гигиены на должном уровне
- Снижение мобильности человека
- Сложность и неудобство в использовании

Командой ОТМ были разработаны и напечатаны на 3D принтере [2] стендовые образцы ортезов ОТМ01, ОТМ02, ОТМ03 (см. рис. 1). Основные преимущества ортезов ОТМ по сравнению с другими ортезами:

- 3D-печатный ортез ОТМ разрабатывается индивидуально, и его структура может быть спроектирована так, чтобы добавить прочности конкретным областям, нуждающимся в поддержке, и снизить давление в других местах.
- В ортезе ОТМ предусмотрены технологические отверстия для своевременного обслуживания кожных покровов.
- Легко зафиксировать за считанные секунды с помощью пары зажимов или специальных ремней липучек.
- Индивидуальный дизайн и цветовая гамма.
- Лёгкий и эргономичный.



а)

б)



в)

Рис. 1. Стендовые модели ортезов ОТМ01 (а) ОТМ02 (б) ОТМ03 (в)

Возможные способы реализации ортезов

1-ый способ

3D-сканирование руки для фиксации точных размеров конечности. Данные заносятся в спец. программы и по этим данным создаётся 3D-модель ортеза с оптимальным количеством поддержек и точным размером для плотного прилегания.

2-ой способ

3D-печать выкройки ортеза по размерам руки. В дальнейшем по слепку руки или по самой руке клиента производится доводка выкройки ортеза с помощью фена.

Для создания прототипов мы использовали второй способ производства (см. рис. 2). При обоих способах создания ортезов необходима [3] консультация клиента с врачом - специалистом.

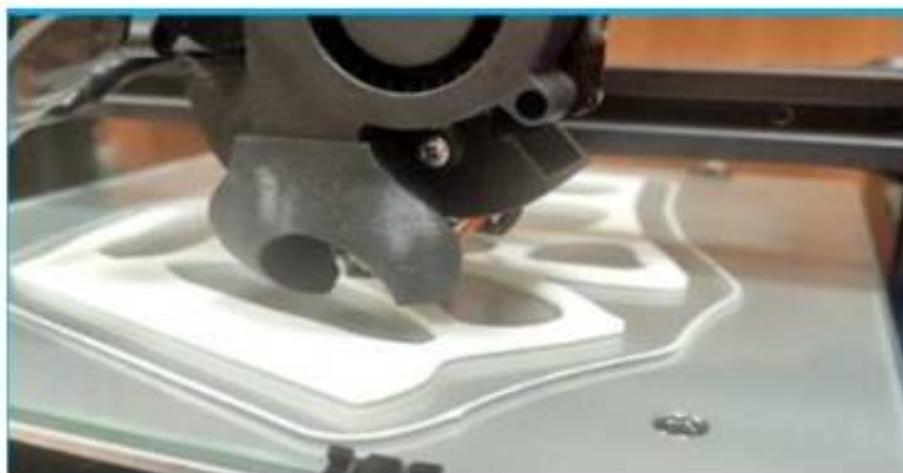


Рис. 2. 3D – печать плоской выкройки ортеза ОТМ03

Предложения по модернизации для улучшения качественных показателей

При установке ортеза ОТМ на тело человека должна осуществляться его доводка по месту установки в соответствии с индивидуальными размерами этой части тела. Такая доводка выполняется с помощью горячего воздуха из фена. Очевидно, что горячий воздух будет оказывать вредное воздействие на сами кожные покровы через технологические отверстия на ортезе. В связи с этим авторами предлагается улучшить конструкцию ортеза путём интеграции теплостойкой ткани (см. рис. 3) на стадии 3D-печати между слоями вокруг технологических отверстий.

После доводки ортеза ОТМ теплостойкая ткань из технологических отверстий удаляется врачом.

Командой ОТМ также разрабатывается модель 3D – принтера с большой областью печати. Обусловлено это тем, что 90% стандартных принтеров на рынке имеют область печати максимум 350мм по осям X и Y. А оставшиеся 10% относятся к промышленным 3D – принтерам с большой областью печати. Бывают случаи, когда ортез должен быть большого размера, так, например, при травме коленного сустава размер ортеза может достигать 700мм в длину и 600мм в ширину. Поэтому необходим более дешёвый, узкопрофильный, скоростной 3D – принтер с большой областью печати для производства ортезов ОТМ, ортопедических стелек ОТМ, отдельных частей протезов, ортезов.

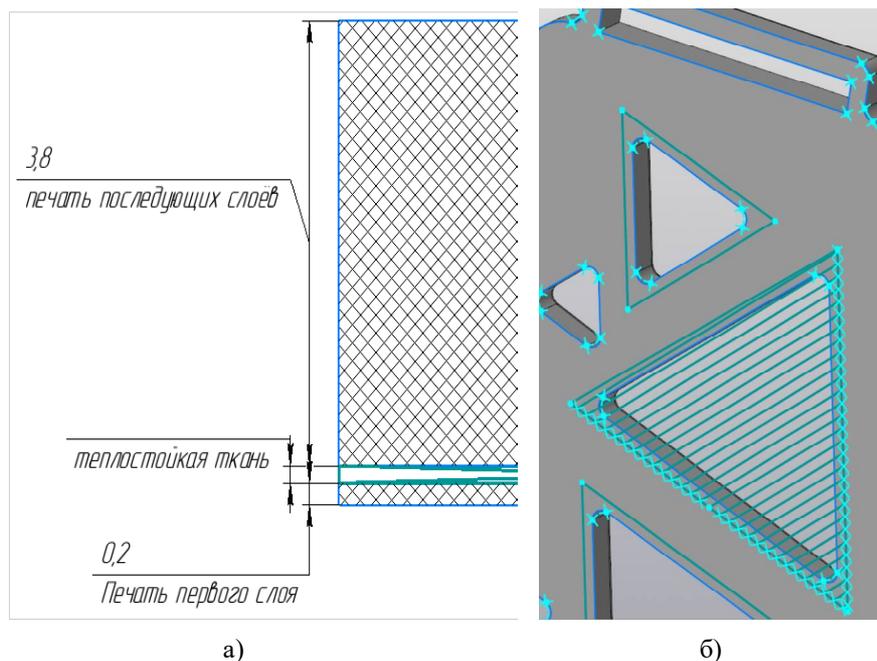
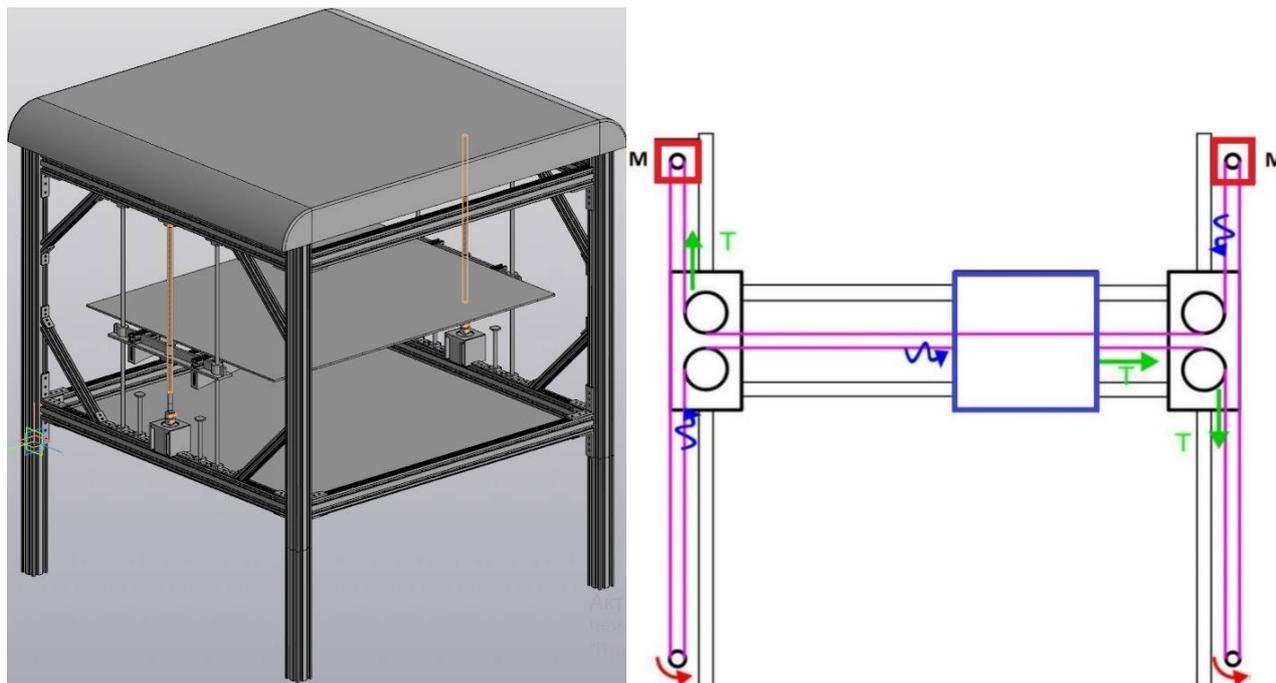


Рис. 3. Упрощённая схема модернизации, а) вид в разрезе б) вид сверху

Разработка модели прототипа 3D – принтера ОТМ Е1

3D – принтер ОТМ Е1 (рис. 4 (а)) имеет рабочее пространство 600*760*350 мм. при этом габариты самого принтера 960*880*1180 мм. Каркас принтера выполнен из стандартного алюминиевого конструкционного профиля видов: ОВ – 2020, ОВ – 2040, ОВ – 4040. Стол перемещается по оси Z с помощью ШВП SFU 1204 и направляющих. По осям X и Y каретки перемещаются с помощью линейных направляющих HGW15CC.

В 3D – принтере ОТМ Е1 реализована кинематика H – Bot, на раме закреплён (рис. 4 (б)) один ремень, образующий букву H. Когда оба мотора вращаются в одном направлении, экструдер движется по оси X, когда они вращаются в разных направлениях, он движется по оси Y. Когда один из двигателей неактивен, экструдер движется по диагонали. Кинематикой 3D – принтера управляют шаговые двигатели NEMA23. За подучу филамента отвечает шаговый двигатель NEMA17. На ось Z для стабильного перемещения стола установлены параллельно 2 шаговых двигателя NEMA23. На оси X и Y установлены по одному шаговому двигателю NEMA23. Под рабочей зоной 3D – принтера предусмотрена зона размером 880*880*358 мм. В этой зоне будет расположен шкаф со всей электроникой, а также отдельный защищённый кейс для хранения до 6 стандартных катушек филамента и инструментов.



а) б)
Рис. 4. Упрощённая 3D – модель (а), кинематика осей X и Y (б)

Библиографический список

1. Федеральная служба государственной статистики [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://rosstat.gov.ru/folder/210/document/13218> свободный.
2. Слюсар, В.И. Фаббер-технологии: сам себе конструктор и фабрикант. Конструктор. – 2002. - № 1. С. 5 - 7. (2002).
3. Платформа университет 20.35 [Электронный ресурс]. – Режим доступа: https://pt.2035.university/project/3d-resat_ortezov_2022_10_21_20_53_08?_ga=2.232315101.315749770.1676405592-1315050776.1664919805

УДК 621.91.02; ГРНТИ 55.13.01

К ВОПРОСУ О ВЫБОРЕ ДИАМЕТРА ВРАЩАЮЩЕГОСЯ ИНСТРУМЕНТА

Н.В. Грибов*, О.В. Миловзоров**

Рязанский государственный радиотехнический университет имени В.Ф. Уткина
Рязань, *milovzorov_542@inbox.ru, **gribov112@yandex.ru

Аннотация. В данной работе рассматривается вопрос выбора диаметров торцовых фрез для станков с ЧПУ и универсальных станков с целью оценки его влияния на производительность при фрезеровании конструкционных сталей, а также применение сверл с СМП в за-мен спиральных сверл.

Ключевые слова: механообработка, вращающийся инструмент, торцовые фрезы, режимы резания.

TO ROTATING TOOL DIAMETER SELECTION

N.V. Gribov*, O.V. Milovzorov**

Ryazan State Radio Engineering University n.a. V.F. Utkin
Ryazan, *milovzorov_542@inbox.ru, **gribov112@yandex.ru

Annotation. This paper considers the issue of selecting the diameters of end cutters for CNC machines and universal machines in order to assess its impact on the productivity during fro-grain of structural steels, as well as the use of drill bits with replaceable polyhedral plates in the replacement of spiral drills.

Keywords: machining, rotating tool, end cutters, cutting modes.

Одним из самых распространенных инструментов для обработки плоскостей являются торцевые фрезы. Ряд ведущих производителей режущего инструмента (например, Sandvik Coromant) рекомендует выбирать диаметр фрезы на 20% - 30% больше ширины фрезерования. Следует проанализировать эту рекомендацию в контексте необходимой затрачиваемой мощности резания.

В настоящее время в машиностроительном производстве используются станки как с приводами на основе нерегулируемых асинхронных двигателей, так и регулируемых. Для оценки возможностей тех и других приводов рассмотрим их силовые характеристики.

Силовая характеристика привода с нерегулируемым асинхронным двигателем показана на рисунке 1. Оси абсцисс соответствует частота вращения, мощность и вращающий момент отмечены на оси ординат.

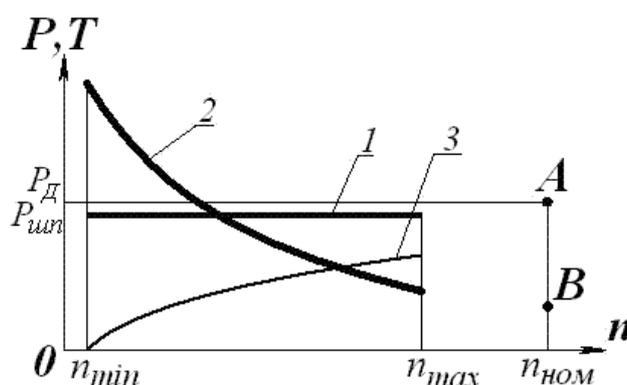


Рис. 1. Силовая характеристика привода с асинхронным нерегулируемым двигателем

Нерегулируемый асинхронный двигатель в приводе станка как правило работает на оптимальной для него частоте вращения $n_{ном}$ (номинальная частота вращения), развивая при этом постоянную мощность P_d и момент вращения T , чему на графике соответствуют точки A и B . Необходимые для обработки частоты вращения привода формируются с помощью ступенчатой коробки скоростей за счет редукции в зубчатых передачах, передача момента вращения от двигателя на коробку осуществляется ременной передачей. Мощность на шпинделе $P_{шп}$ при этом от частоты вращения не зависит и определяется лишь КПД привода $P_{шп} = \eta P_d$. На графике это отражено прямой $P_{шп}$, расположенной чуть ниже прямой P_d .

Частоты n вращения шпинделя в диапазоне от n_{min} до n_{max} формируются переключениями коэффициента редукции в коробке скоростей и изменяются ступенчато, образуя при этом ряд фиксированных частот вращения, определяемых нормальным рядом.

В отличие от мощности на шпинделе, вращающий момент обратно пропорционален частоте вращения шпинделя и за счет редукции существенно возрастает с уменьшением частоты вращения (кривая 2 на рисунке 1):

$$T = \frac{30P_d}{\pi n}.$$

Таким образом, на минимальных частотах вращения привод на основе нерегулируемого асинхронного двигателя имеет максимальные значения момента вращения и это обеспечивает потенциальную возможность выполнять фрезерование торцевой фрезой с чрезмерно большими глубинами резания и шириной, однако реализовать эти возможности на практике, как правило не удается из-за отсутствия в этом необходимости.

Теперь рассмотрим силовую характеристику привода на основе регулируемого асинхронного двигателя с частотным регулированием. Эта характеристика представлена на рисунке 2.

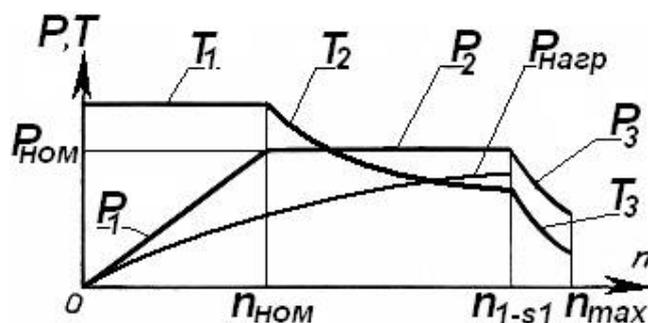


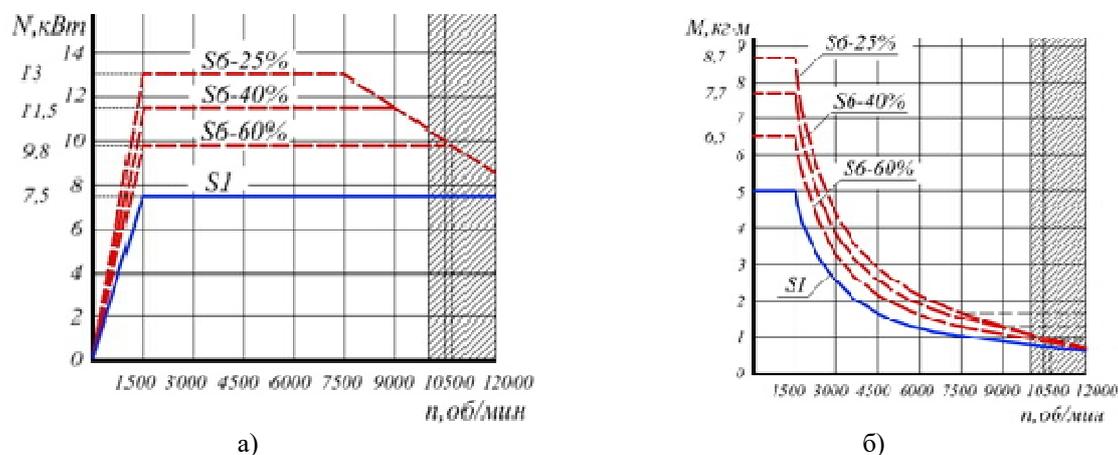
Рис. 2. Силовая характеристика привода на основе асинхронного двигателя с частотным регулированием

Как и в предыдущем случае, ось абсцисс соответствует частоте вращения, а ось ординат – мощности и вращающему моменту. Вышеупомянутым характеристикам на графике соответствуют три различных участка.

- 1) Участок от 0 до $n_{ном}$. Момент вращения (T_1) здесь максимален и постоянен, при этом мощность на шпинделе P_1 прямо зависит от частоты вращения, при нулевой частоте она равна нулю и на частоте $n_{ном}$ она достигает своего максимального – номинального значения P_2 .
- 2) Участок от $n_{ном}$ до n_{1-s1} . На этом участке двигатель развивает постоянную мощность P_2 . При этом момент вращения (T_2) здесь обратно пропорционален частоте вращения, т.е. падает с ростом частоты.
- 3) Участок от n_{1-s1} и более. Здесь происходит как падение мощности на шпинделе P_3 , так и еще большей степени падение момента вращения T_3 .

Таким образом в регулируемом приводе имеется недостаток, который заключается в снижении выдаваемой мощности при уменьшении частоты вращения ниже номинальной.

Рассмотрим вертикально-фрезерный станок MCV-2418 с ЧПУ Fanuc 0i, у которого привод главного движения без редуктора с зубчатой ременной передачей с передаточным отношением 1:1. В приводе применяется асинхронный двигатель с частотным регулированием мощностью в режиме S1 7,5 кВт. Сило-моментные характеристики привода показаны на рисунке 3. На рисунке 4 представлена схема фрезерования торцевой фрезой.



а)

б)

Рис. 3. Сило-моментные характеристики привода:
а) – график мощности; б) – График мощности

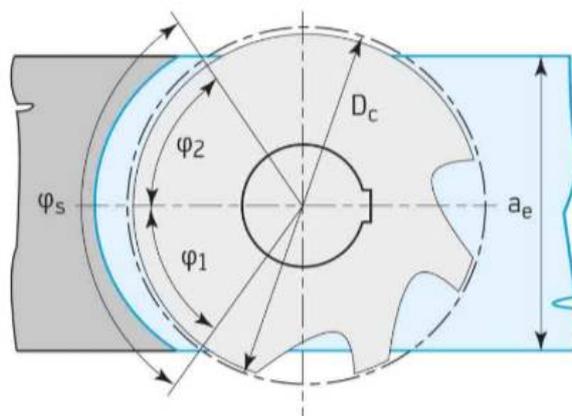


Рис. 4. Схема фрезерования торцевой фрезой

Рассчитаем мощность резания при различных диаметрах торцевой фрезы для обработки конструкционной стали «Сталь 20». Расчет будем вести по зависимостям, рекомендуемым фирмой Walter.

$$Q = a_e \cdot a_p \cdot s_{\text{мин}} \cdot k_c - \text{удельный съем материала,}$$

где a_e – ширина фрезерования;
 a_p – глубина резания.

$$k_c = k_{c1.1} / h_m^{\text{mc}} - \text{удельная сила резания,}$$

где h_m – средняя толщина стружки.

$$P = Q \cdot k_c / (60000 \cdot \eta) - \text{мощность резания.}$$

Данные сведем в таблицу.

Таблица – Результаты расчета

Диаметр фрезы, мм	50		63		80		100		125	
Ширина фрезерования, мм	40		50		65		80		100	
Число зубьев	4		5		6		8		10	
Подача на зуб, мм	0,15		0,15		0,15		0,15		0,15	
Скорость резания, м/мин	200		200		200		200		200	
Глубина резания, мм	2	4	2	4	2	4	2	4	2	4
Мощность резания, кВт	2,76	5,52	3,42	6,84	4,2	8,4	5,52	11	6,9	13,8
Частота вращения, об/мин	1275		1000		800		637		509	

Согласно схеме фрезерования, наибольшая производительность будет при диаметре инструмента больше ширины фрезерования. Однако, если сравнить результаты расчета мощности с графиком сило-моментных характеристик, то будет видно, что работа инструментом, диаметр которого больше 63 мм, резание не возможно. Следовательно увеличение диаметра торцевой фрезы к увеличению производительности не приводит по причине увеличения числа проходов из-за уменьшения глубины резания и мощности привода. Работать фрезами диаметром 125мм и более целесообразно на оборудовании с мощностью приводов главного движения не менее 15 киловатт.

Библиографический список

1. Sandvik Coromant. Учебное пособие. «Технология обработки металлов резанием». С-2920:40 ru-RU © АВ Sandvik Coromant 2017.11.
2. Паспорт станка MCV-2418.
3. Оптимизация силовых характеристик регулируемых главных приводов токарных станков. *Марголит Р.Б., Липатов С.И., Терехова О.А.* Технология машиностроения. 2008.№12. С. 14-17.
4. Walter. Калькулятор для расчета режимов резания.

РАЗРАБОТКА МИНИ-САПР СОЗДАНИЯ 3D МОДЕЛЕЙ КОНСТРУКТИВНО-ПОДОБНЫХ КОРПУСНЫХ ДЕТАЛЕЙ

В.Д. Волобуев, О.В. Милвзоров

*Рязанский государственный радиотехнический университет имени В.Ф. Уткина,
Российская Федерация, Рязань, volvov12bliz@list.ru*

Аннотация. В работе рассматривается мини-САПР, её основные достоинства и недостатки, а также актуальность разработки данной системы.

Ключевые слова: мини-САПР, 3D модель, система автоматизированного проектирования (САПР), параметризация.

DEVELOPMENT OF MINI-CAD. CREATION OF 3D MODELS OF STRUCTURALLY SIMILAR BODY PARTS

V.D. Volobuev, O.V. Milvovzorov

*Ryazan State Radio Engineering University named after V.F. Utkin,
Russian Federation, Ryazan, volvov12bliz@list.ru*

The summary. The paper considers mini-CAD system, its main advantages and disadvantages, as well as the relevance of the development of this system.

Keywords: mini-CAD system, 3D model, computer-aided design system (CAD), parameterization.

Современный этап развития производительных сил характеризуется высоким уровнем конкуренции между производителями. Основным направлением в конкурентной борьбе является не столько снижение себестоимости продукции, сколько повышение ее качества и максимальное соответствие специфическим требованиям конкретного потребителя.

В настоящее время трудно представить проектирование и технологическую подготовку производства без программных средств автоматизации. Благодаря широкому внедрению систем автоматизированного проектирования можно по-новому взглянуть на процесс проектирования и производства продукции. Наиболее наукоемкие отрасли промышленности стали активными пользователями и сторонниками компьютерных технологий. Таким образом, возможность моделирования будущего внешнего вида изделия, процесса изготовления оснастки и развития технологии переросла в потребность.

Данную потребность удовлетворяют Система автоматизированного проектирования (САПР), но при потребности создания множества конструктивно-подобных деталей эти системы не всегда бывают удобны. Решением этого являются мини-САПР.

Мини-САПР можно определить как систему, ориентированную на полуавтоматическую разработку 3D-модели детали на основе параметрической 3D-модели комплексной детали [1]. Она создаётся на базе более мощной и комплексной системы, поддерживающей параметризацию, например T-Flex CAD 3D. Он содержит весь требуемый функционал для создания мини-САПР, а дополнительные модули среды T-Flex позволят дальше провести деталь по всему маршруту производства.

Преимуществом мини-САПР является то, что она позволяет быстро создать несколько моделей однотипных деталей. Это обеспечивается за счёт параметризации и изменения значений переменных. Создание 10 подобных деталей, отличающихся лишь длиной, займёт изрядное количество времени, а мини-САПР справится с этим за минуты. При запуске системы, она предлагает ввести требуемые значения параметров и на их основе строит 3D модель[2]. Если же нужно создать другую деталь, то достаточно просто изменить значения переменных и деталь перестроится. Для корпусных деталей, это будут такие параметры как:

- a – длина детали
- b – ширина детали
- c – толщина стенки
- $h1$ – толщина дна
- $h2$ – высота стенки
- $h3$ – высота бобышек
- g – расстояние от стенки тела до отверстия бобышек
- k – толщина стенок бобышек
- $r1$ – радиус отверстий бобышек

Некоторые из этих переменных представлены на рисунке 1.

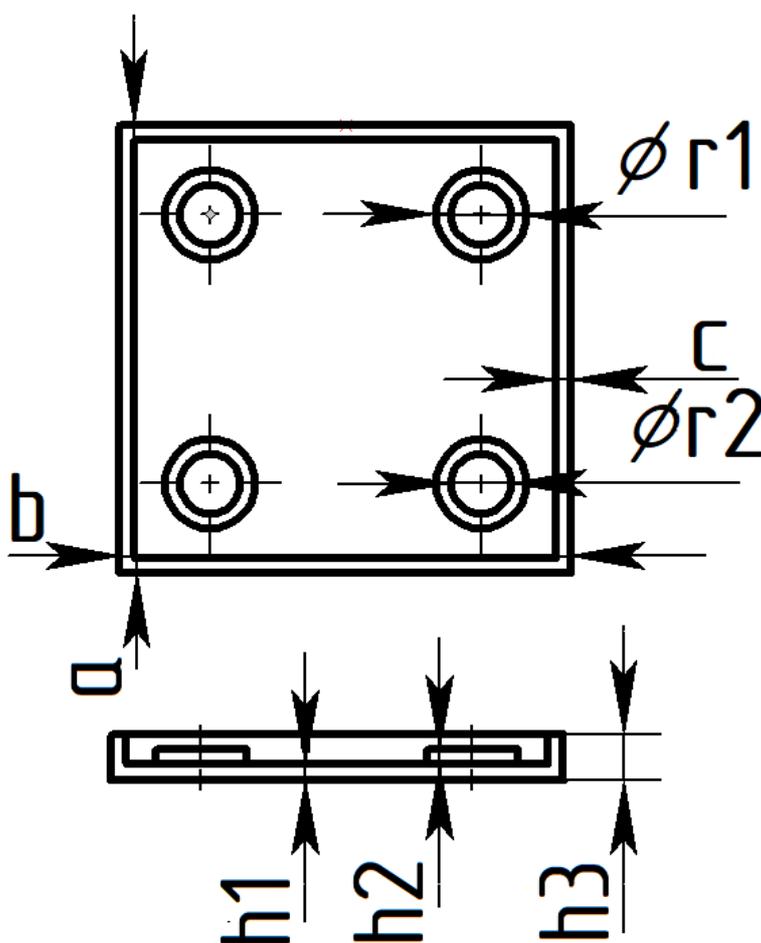


Рис. 1. Чертёж с указанными переменными

Для примера, как именно происходит перестройка модели, можно посмотреть рисунки 2 и 3. На рисунке 2а представлены заданные параметры модели, после их ввода модель принимает вид как на рисунке 3а. Если мы изменим эти параметры на те, что на рисунке 2б, то модель примет вид как на рисунке 3б. Аналогично можно сделать и другие корпусные детали, что очень сильно сократит время на создание моделей

a	30	h3	1
b	30	g	5
c	1	k	1
h1	1	r1	2
h2	2	r2	r1+k

а)

a	45
b	20
c	1
h1	1
h2	2
h3	1
g	3

б)

Рис. 2. Параметры моделей: а) – первичные параметры первой модели; б) – изменённые параметры для второй модели

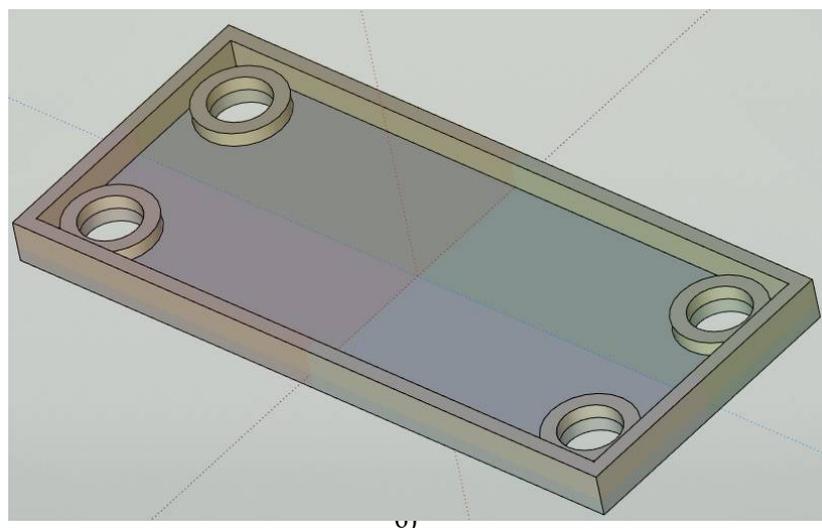
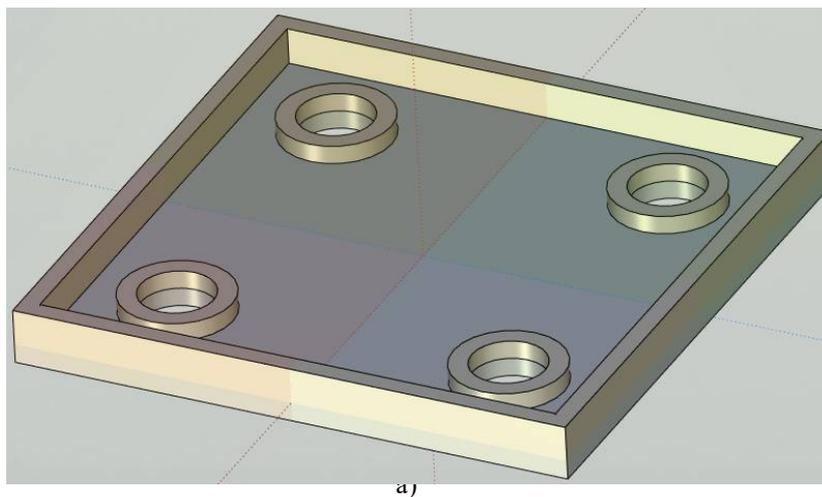


Рис. 3. 3D-модели деталей: а) – первая модель; б) – вторая модель

Существенным и главным недостатком мини-САПР, напрямую вытекающим из его преимущества, является сложность разработки подобной системы.

Для разработки такой системы необходимо:

1. построить параметрическую 3D модель;
2. учесть всевозможные переменные так, чтобы при отрисовки модели, после их задания, отдельные элементы детали не наезжали друг на друга;
3. предусмотреть интерфейс ввода значений, чтобы пользователю не пришлось изменять значение переменных в окне их ввода.

Это комплексный процесс, требующий больших затрат как времени, так и средств. При этом система будет создавать только однотипные модели, не сильно отличающиеся друг от друга, поэтому данная система будет востребована только на производстве, специализирующемся на выпуске множества однотипных деталей.

Исходя из вышеизложенного, мини-САПР необходима многосерийным производствам с большим количеством однотипных деталей, так как позволит сэкономить время на создание и изменение 3D моделей деталей, что в свою очередь сократит простой оборудования и станков.

Библиографический список

1. О.В. Миловзоров, Н.В. Грибов, Мини-САПР 3-D моделирования многоступенчатых валов на основе системы T-FLEX CAD 3D – Компьютерная графика в материаловедении, светотехнике и дизайне «ГрафиКон — 2022».
2. <https://tflexcad.ru/help/tutorial/17/index.htm>

УДК 519.688; ГРНТИ 50.41.21

МАТЕМАТИЧЕСКАЯ МОДЕЛЬ ОПИСАНИЯ АЛГОРИТМА УПРАВЛЕНИЯ АВТОМАТИЗИРОВАННОЙ СКУД НА ОСНОВЕ АНАЛИЗА БИОМЕТРИЧЕСКИХ ДАННЫХ

С.С. Семина, Д.Е. Ржепик

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

Аннотация. В работе предложено описание алгоритма обработки биометрических параметров автоматизированной системы идентификации и контроля психоэмоционального состояния человека на основе применения нечетко-логической модели. В качестве анализируемых параметров использованы артериальное давление, значение пульса и данные о кожно-гальванической реакции. Применение данного подхода к реализации программного алгоритма позволяет сформировать объективное и достоверное решение о допуске человека на объект. Функции принадлежности термов лингвистических переменных и база нечетких правил созданы на основе медицинских норм для соответствующих параметров. Использован нечеткий вывод Мамдани с дефаззификацией по методу центра тяжести.

Ключевые слова: автоматизированная система, программный алгоритм, нечеткое множество, функция принадлежности, лингвистическая переменная, база нечетких правил, нечеткий вывод Мамдани, дефаззификация.

MATHEMATICAL MODEL FOR DESCRIPTION OF AUTOMATED ACS CONTROL ALGORITHM BASED ON BIOMETRIC DATA ANALYSIS

S.S. Semina, D.E. Rzepik

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

Abstract. The paper offers a description of an algorithm for processing biometric parameters of an automated system for identifying and monitoring a person's psychoemotional state based on the use of a fuzzy logic model. Blood pressure, pulse value and data on skin-galvanic reaction were used as the analyzed parameters. The application of this approach to the implementation of the software algorithm makes it possible to form an objective and reliable decision on the admission of a person to an object. The membership functions of the terms of linguistic variables and the base of fuzzy rules are created on the basis of medical norms for the corresponding parameters. The fuzzy Mamdani derivation with defuzzification by the center of gravity method was used.

Keywords: automated system, software algorithm, fuzzy set, membership function, linguistic variable, fuzzy rule base, Mamdani fuzzy inference, defuzzification.

При оценке психоэмоционального состояния человека, основанной на обработке биометрической информации в микропроцессорной системе аналого-цифрового устройства, возникает задача построения алгоритма принятия решения и поиска оптимальной модели его представления, а также адаптации системы оценивания принадлежности полученных данных к установленным параметрическим границам («норма», «не норма», «условная норма») в зависимости от индивидуальных особенностей человека.

В связи с этим, был разработан алгоритм программного управления автоматизированным аппаратным средством идентификации и контроля психоэмоционального состояния человека, который представлен на рисунке 1.

Перед началом работы программного цикла предполагается наличие базы данных с медицинскими показаниями сотрудников, а именно: пульс, артериальное давление, возраст, а также данные о КГР. На рисунке 2 представлен вид сигнала кожно-гальванической реакции на звуковой стимул. Из данного графика необходимо получить данные об амплитуде КГР человека в спокойном состоянии $h_{\text{норм}}$, а также данные о реакции на какой-либо раздражитель m (единица измерения – условные единицы). Данные о возрасте сотрудника необходимы для определения параметров его пульса в норме, а также максимального и минимального показателей по соответствующим аналитическим зависимостям. Соответственно, данные параметры определяют допуск на объект сотрудников. Работа автоматизированной системы контроля и управления доступом характеризуется тремя режимами: допуск, условный допуск (рекомендация отдохнуть и повторить попытку позже), не допуск.

При оценке состояния в пределах нормы не возникает никаких сложностей, но, в случае отклонения хотя бы одного показателя от нормального значения, задача поиска алгоритма принятия решения усложняется, особенно, когда некоторые параметры также отклоняются от границ нормы или вообще находятся в зоне не допуска. Поэтому предлагается использовать представление данных в виде нечетких чисел LR-типа и составить базу нечетких правил для вывода [1].

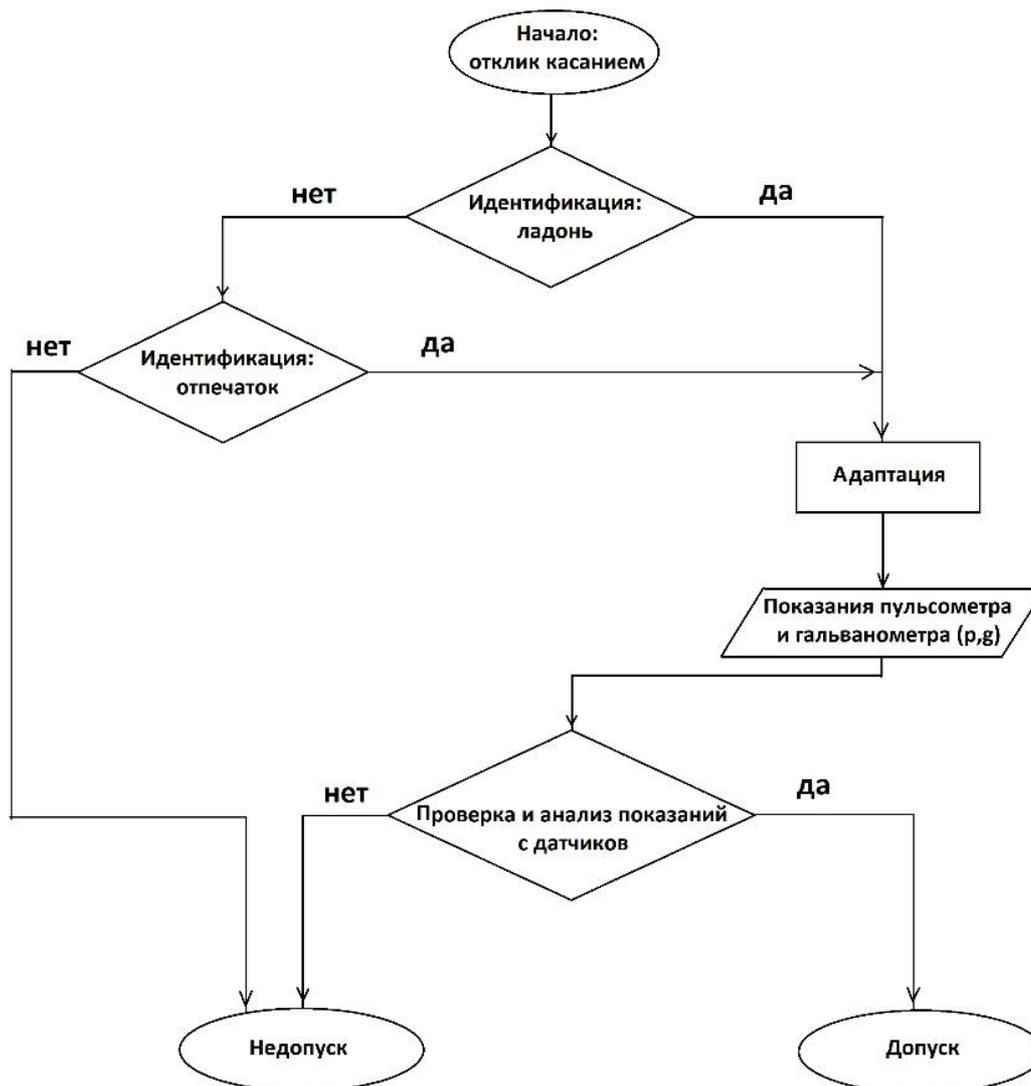


Рис. 1. Алгоритм работы автоматизированной системы идентификации и контроля психоэмоционального состояния человека

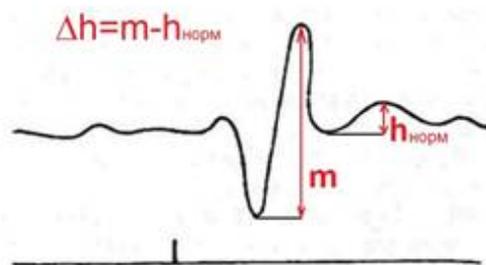


Рис. 2. Кожно-гальваническая реакция на звуковой стимул

Нечеткое управление – это форма интеллектуального управления, основной особенностью которой является использование экспертных знаний о стратегии контроля и управления системами. Экспертные знания представлены с помощью лингвистических переменных и правил «ЕСЛИ – ТО». Лингвистические переменные являются терминами, связанными с нечеткими множествами [2,4].

Работу модели нечеткого управления представим на примере. Предполагая, что сотруднику 20 лет, $m=4$, а $h_{норм} = 1$, произведем описание функции принадлежности (ФП) термов лингвистических переменных: «Верхнее артериальное давление» и «Нижнее артериальное давление», которые приведены на рисунках 3а и 3б соответственно.

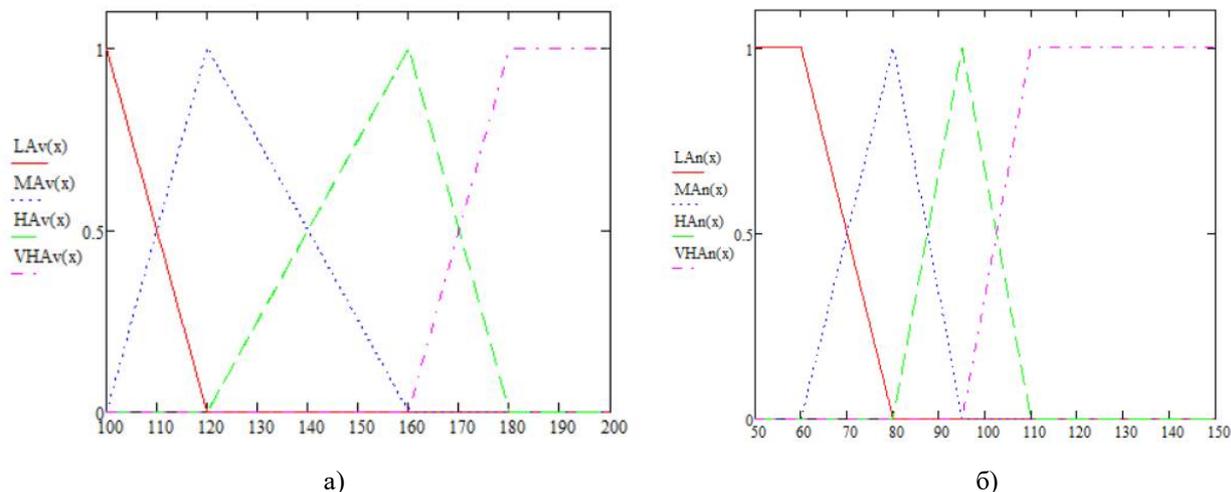


Рис. 3. Терм-множества лингвистической переменной «Верхнее артериальное давление», мм рт.ст. (а); «Нижнее артериальное давление», мм рт.ст. (б):

LA_v (низкое давление), MA_v (нормальное давление), HA_v (повышенное давление), VHA_v (высокое давление);
LA_n (низкое давление), MA_n (нормальное давление), HA_n (повышенное давление), VHA_n (высокое давление);

Соответственно ФП термов лингвистической переменной «Кожно-гальваническая реакция» (а) и терм-множества лингвистической переменной «Пульс» (б) изображены на рисунке 4.

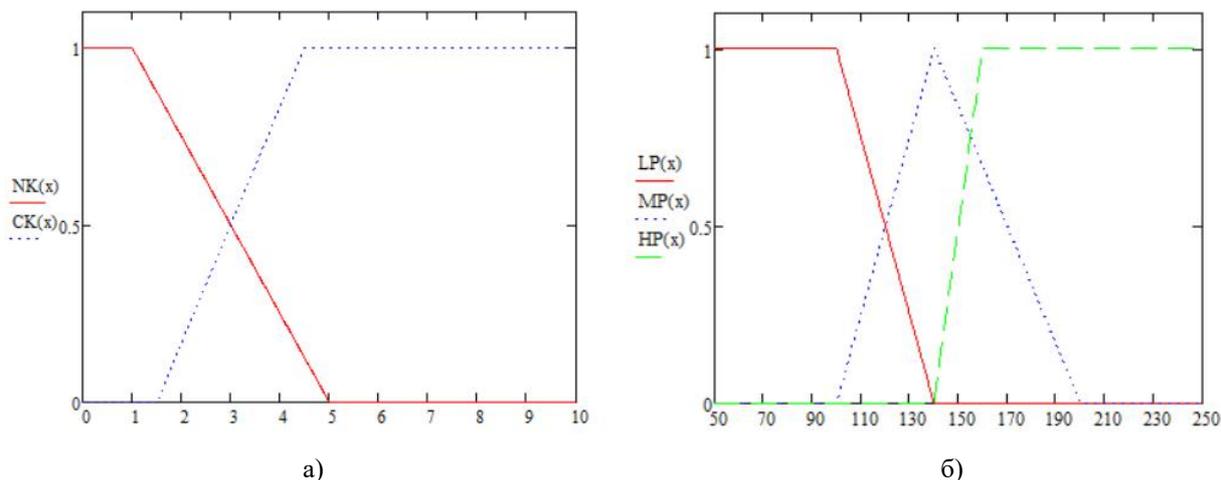


Рис. 4. Терм-множества лингвистической переменной «Кожно-гальваническая реакция», у.е. (а);

Терм-множества лингвистической переменной «Пульс», уд./мин. (б),

NK (спокойное состояние), SK (раздражитель);

LP (низкий пульс), MP (нормальный пульс), HP (высокий пульс).

Аналогично, при применении входных параметров для человека в возрасте 50 лет и КГР $m=10$, $h_{норм} = 3$, имеем следующие изменения в представлении терм-множеств лингвистических переменных «Кожно-гальваническая реакция» (а) и «Пульс» (б) (рисунок 5):

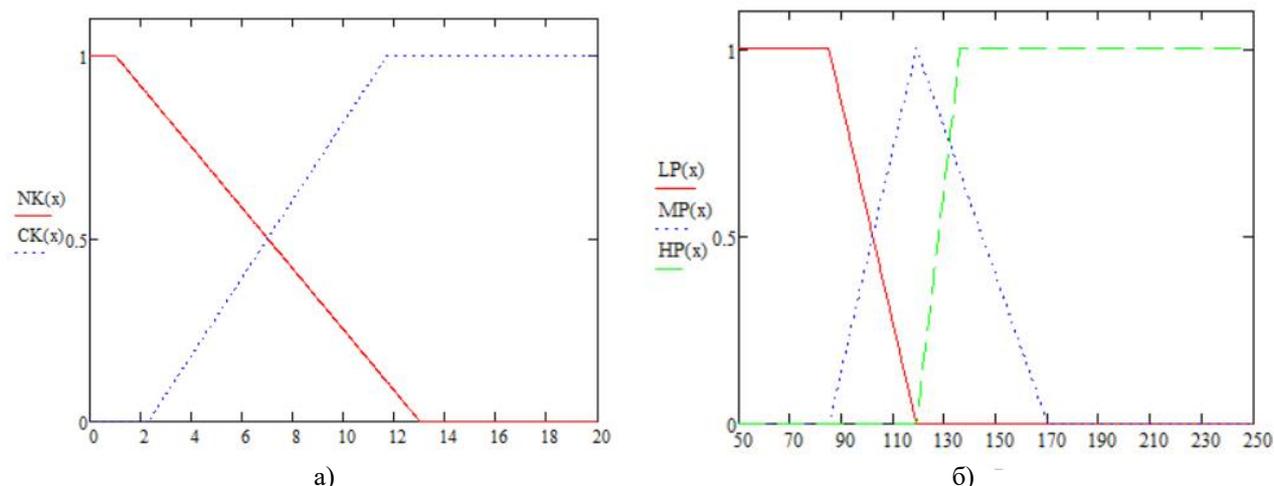


Рис. 5. Изменённые терм-множества лингвистической переменной «Кожно-гальваническая реакция», у.е. (а); Терм-множества лингвистической переменной «Пульс», уд./мин. (б),
NK (спокойное состояние), CK (раздражитель);
LP (низкий пульс), MP (нормальный пульс), HP (высокий пульс).

Таким образом, система предполагает адаптацию под каждого человека, чьи медицинские данные будут внесены в соответствующую базу.

На основе анализа медицинских рекомендаций была составлена база нечетких правил для вывода результата о допуске, не допуске и условном допуске (рекомендация отдохнуть и позже повторить попытку прохождения проверки) (Таблица 1) [3].

Таблица 1. База нечётких правил

Нижнее артериальное давление, мм рт.ст.	Низкое верхнее артериальное давление, LAV, мм рт.ст.						Нормальное верхнее артериальное давление, MAV, мм рт.ст.						Повышенное верхнее артериальное давление, HAV, мм рт.ст.						Высокое верхнее артериальное давление, VHAv, мм рт.ст.					
	LP		MP		HP		LP		MP		HP		LP		MP		HP		LP		MP		HP	
	NK	CK	NK	CK	NK	CK	NK	CK	NK	CK	NK	CK	NK	CK	NK	CK	NK	CK	NK	CK	NK	CK	NK	CK
LAn	Н	Н	Н	Н	Н	Н	УД	Н	УД	УД	Н	Н	Н	Н	УД	Н	Н	Н	Н	Н	УД	Н	Н	Н
MAn	Н	Н	Д	УД	Н	Н	УД	Н	Д	УД	УД	УД	УД	Н	Д	УД	Н	УД	Н	Н	Н	Н	Н	Н
HAn	Н	Н	УД	Н	Н	Н	УД	УД	Д	УД	УД	УД	Н	Н	Д	УД	Н	Н	Н	Н	УД	Н	Н	Н
VHAn	Н	Н	Н	Н	Н	Н	Н	УД	УД	УД	Н	Н	Н	Н	УД	УД	Н	Н	Н	Н	Н	Н	Н	Н

Таким образом, применение математической модели нечеткого управления при построении программного алгоритма работы устройства идентификации и контроля психоэмоционального состояния человека, для принятия достоверного решения о допуске, позволило информативно представить результаты анализа измеряемых битометрических данных и предложить алгоритм (базу нечетких правил) их комплексной оценки.

Работа выполнена под научным руководством заведующего кафедрой Автоматизации информационных и технологических процессов РГРТУ им В.Ф. Уткина, доцента, к.т.н. Ленкова М.В.

Библиографический список

1. Бухенский К.В., Конюхов А.Н., Дюбуа А.Б., Сафошкин А.С. Быстрый алгоритм расчета индексов нечеткости для унимодальных нечетких чисел LR-типа // Вестник Рязанского государственного радиотехнического университета. 2019. №70. С. 65-75.

2. Bede, B. Mathematics of Fuzzy Sets and Fuzzy Logic. – London: Springer, 2013. – 276 p.

3 Основы теории нечетких множеств. Часть 2: учеб. пособие / А.Н.Конюхов, А.Б.Дюбуа, А.С.Сафошкин; Рязан. гос. радиотехн. ун-т. Рязань, 2018. – 108 с.

4. Конюхов А.Н., Дюбуа А.Б. Параметрическое исследование лингвистических модификаторов на нечетких множествах с ограниченными носителями // Современные технологии в науке и образовании – СТНО-2017 / под ред. О.В. Миловзорова. Рязань: Рязан. гос. радиотехн. ун-т, 2017. Т. 2. С. 131-136.

УДК 681.2.082; ГРНТИ 50.53

ТЕХНОЛОГИЯ РАЗРАБОТКИ АВТОМАТИЗИРОВАННОГО АППАРАТНОГО СРЕДСТВА ДЛЯ ИЗУЧЕНИЯ ОСНОВНЫХ РЕЖИМОВ РАБОТЫ РАДИО-ЭЛЕКТРОННЫХ КОМПОНЕНТОВ

Н.Е. Урускин

*Рязанский государственный радиотехнический университет имени В.Ф. Уткина,
Российская федерация, Рязань, uruskin696@mail.ru*

Аннотация. В работе рассматриваются подходы к созданию автоматизированных аппаратных средств, направленных на исследование режимов работы и параметров компонентов микроэлектронной техники, на основе анализа основных этапов проектирования радиоэлектронной измерительной аппаратуры. Отражены особенности практической реализации полного цикла разработки тестирующего оборудования с применением аппаратных средств печатного монтажа, контрольно-измерительной аппаратуры и средств моделирования.

Ключевые слова: автоматизированные технические средства, радиоэлектронные компоненты, контрольно-измерительная аппаратура, электрическая схема, печатная плата.

TECHNOLOGY FOR DEVELOPING AUTOMATED HARDWARE FOR STUDYING THE MAIN MODES OF OPERATION OF RADIO-ELECTRONIC COMPONENTS

N.E. Uruskin

*Ryazan State Radio Engineering University named after V.F. Utkin,
Russian Federation, Ryazan, uruskin696@mail.ru*

The summary. The paper considers approaches to the creation of automated hardware aimed at studying the operating modes and parameters of microelectronic equipment components, based on an analysis of the main stages of designing electronic measuring equipment. The features of the practical implementation of the full cycle of development of testing equipment with the use of printed wiring hardware, instrumentation and simulation tools are reflected.

Keywords: automated technical means, radio-electronic components, instrumentation, electrical circuit, printed circuit board.

Современная электронная аппаратура реализуется на уровнях конструкторской иерархии, представленной на рисунке 1. Для всех уровней иерархии используются соответствующие средства автоматизированного проектирования такие как САПР БИС/СБИС, печатных плат, блоков и шкафов.

Рассмотрим вопросы автоматизированного проектирования типовых элементов замены (Уровень I) [1].

Полный цикл проектирования электронных устройств I включает следующие основные этапы:

- Разработка схемы электрической принципиальной электронного устройства.
- Цифроаналоговое моделирование схемы устройства.
- Размещение (расстановка) электронных компонентов и внешних соединительных разъемов на печатной плате.

Оптимизация плана размещения компонентов с целью минимизации длин предполагаемых электрических соединений, обеспечения равномерного теплово-

го рассеивания, создания приемлемой электромагнитной среды для передачи сигналов без искажений.

- Прокладка (трассировка) электрических соединений между эквипотенциальными выводами размещенных компонентов в соответствии с заданными правилами проектирования, регламентирующими ширину соединений, минимально допустимые зазоры с другими элементами печатного монтажа, обеспечения требований быстродействия и помехозащитности.
- Контроль соответствия структуры печатного монтажа исходной электрической схеме и технологическим ограничениям производства.
- Выпуск конструкторской и производственной документации.
- Контроль целостности проектных данных, отслеживание внесенных изменений, обмен проектной информацией с другими автоматизированными системами.

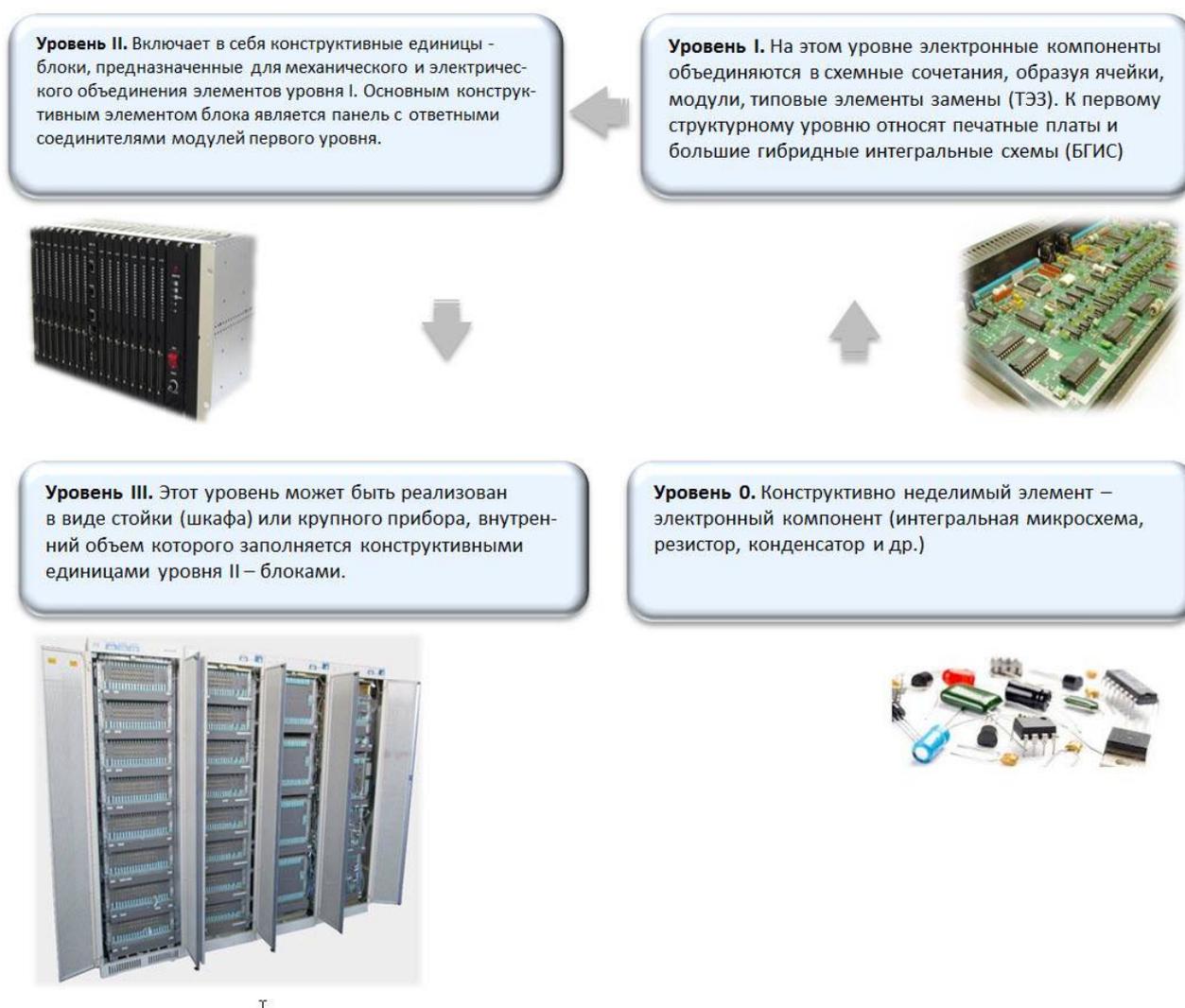


Рис. 1. Уровни конструкторской иерархии электронной аппаратуры

Разработка схемы электрической принципиальной

Электрическая схема — графическое изображение, используемое для передачи с помощью условных графических и буквенно-цифровых обозначений структуры электронного устройства. Включает условные графические обозначения (УГО) электронных компонентов и связей между их выводами. Принципиальная схема может быть представлена на одном и

более чертежных листов, при этом схема не регламентирует взаимное (физическое) расположения электронных компонентов. Всем компонентам на схеме и соединениям присваиваются уникальные идентификаторы (номер компонента по схеме, имя цепи и пр.). Для повышения читабельности схемы используются компактные графические объекты – шины и соединители.

Разработка электрических схем выполняется с использованием предварительно подготовленных и аттестованных на соответствие требованиям ГОСТ библиотек условных графических обозначений электронных компонентов.

Логическое моделирование цифровых устройств

Логическое моделирование – один из распространенных способов проверки поведенческих и функциональных свойств проектируемых цифровых устройств и нацелено на сокращение затрат, связанных с созданием и испытаниями опытных образцов. Структура цифрового устройства для моделирования описывается на одном из распространенных языков описания электронной аппаратуры – VHDL и (или) Verilog, а значения сигналов в соединениях и динамика их изменений во времени отображаются в виде графических временных диаграмм.

Моделирование аналоговых устройств

Моделирование аналоговых устройств позволяет проводить анализ рабочих режимов и осуществлять оценку параметров схемы без изготовления ее макетных образцов [3].

В настоящее время широко распространены следующие виды моделирования аналоговых устройств:

- Анализ схемы по постоянному и переменному току
- Анализ переходных процессов и передаточной функции
- Анализ шумов и устойчивости
- Температурный анализ при изменении рабочей температуры
- Параметрический анализ при изменении параметров моделей электронных компонентов (транзисторы, диоды, конденсаторы, резисторы, функциональные источники и др.)

Размещение электронных компонентов

Размещение (расстановка) электронных компонентов и соединительных разъемов на печатной плате является комплексной задачей, при решении которой требуется достижение компромиссов по следующим основным критериям:

- Расстановка компонентов с соблюдением установленных правил на минимально допустимые расстояния между их корпусами и выводами.
- Минимизация суммарной длины планируемых к реализации соединений с учетом требований по быстродействию и помехозащищенности (дифференциальные пары, функционально связанные группы, цепи синхронизации).
- Обеспечение равномерного распределения плотности соединений на печатной плате.
- Учет теплового рассеивания и электромагнитного излучения электронных компонентов.

Для оценки качества размещения электронных компонентов на печатной плате используются в частности оценки, связанные с анализом плотности распределения требуемых соединений или модель “силовых векторов”, указывающих для каждого компонента направление к его наилучшему посадочному месту на плате.

Трассировка электрических соединений

Трассировка соединений является ключевым этапом конструкторского проектирования радиоэлектронной аппаратуры, решает задачу прокладки соединений на слоях печатной платы между эквипотенциальными выводами компонентов с учётом заданных правил и ограничений, основными среди которых являются ограничения на ширину проводников и минимально допустимые зазоры между элементами печатного монтажа. Показателями эффективности применяемых методов трассировки являются полнота реализации электрической схемы, минимальная суммарная длина построенных соединений, количество использованных слоев и межслойных переходов.

В настоящее время на практике достаточно широко применяются следующие три способа (режима) трассировки печатного монтажа:

Ручная трассировка выполняется конструктором путем нанесения рисунка проводников на чертёж платы.

1. Автоматическая трассировка реализуется специализированными программами, осуществляющими послойную разводку проводников. Полученные результаты доступны конструкторам для последующей ручной корректировки и доработок.

2. Интерактивная трассировка является комбинацией ручного и автоматического режимов трассировки. В этом случае конструктор задает условия для трассировки всех или части требуемых соединений, а программные средства осуществляют операции трассировки в заданных условиях.

Документация на проекты электронных устройств

Завершающим этапом проектирования электронных устройств является выпуск проектной документации, включающий конструкторскую документацию и данные для изготовления печатных плат.

Конструкторская документация (КД) — графические и текстовые документы, которые, определяют состав и устройство изделия, содержат необходимые данные для его изготовления, контроля, эксплуатации. Включают спецификацию, электрическую схему, сборочный чертеж платы, перечень элементов, ведомость покупных изделий, технические условия, программу и методику испытаний и другие в соответствии с требованиями ГОСТ.

Данные на изготовление печатных плат формируются программным способом и содержат информацию, необходимую для изготовления фотошаблонов и сверления. Форматы представления этих данных унифицированы (Gerber, ODB++) и являются стандартами *de facto* при передаче результатов изготовителю.

Сквозной цикл автоматизированного проектирования РЭА

С позиций пользователей (то есть разработчиков электронной аппаратуры) САПР РЭА являются программным продуктом, потребительские свойства которого оцениваются по следующим основным критериям [2]:

- Поддержка сквозного цикла проектирования РЭА средствами автоматизации.
- Функциональные возможности отдельных подсистем (моделирования, трассировки соединений и др.).
- Открытость системы для ее интеграции с другими средствами автоматизации в той же или смежных предметных областях.
- Качественная и детальная пользовательская документация.
- Техническая поддержка пользователей со стороны компаний — разработчиков программного продукта.

В этом ряду требований первостепенным, как правило, является требование возможности построения сквозного цикла проектирования – от выдачи технического задания на проект и до получения конструкторской документации и данных для изготовления изделия.

Содержание сквозного цикла определяется набором проектных этапов, последовательно выполняемых на основе единой информационной модели проекта.

Такой подход обеспечивает совместимость проектных данных и возможности итеративного проектирования изделия, то есть возобновления проектных работ с начального или одного из промежуточных этапов при изменениях проектных спецификаций.

Работа выполнена под научным руководством заведующего кафедрой Автоматизации информационных и технологических процессов РГРТУ им В.Ф. Уткина, доцента, к.т.н. Ленкова М.В.

Библиографический список

1. Селютин В.А. Машинное конструирование электронных устройств: научное издание / В. А. Селютин. - Москва: Советское радио, 1977. Стр. 350 – 383
2. Абрамов А.Т., Артемов В.В. [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 автоматизированных средств изучения параметров электронных компонентов 2022 / Урускин Н.Е., Ленков М.В. С. 137-139.

УДК 004.92, 004.94; ГРНТИ 50.51.02

ИСПОЛЬЗОВАНИЕ СИСТЕМ 3D-МОДЕЛИРОВАНИЯ ДЛЯ РАЗРАБОТКИ УНИФИЦИРОВАННЫХ МОДЕЛЕЙ ДЕТАЛЕЙ

О.В. Миловзоров*, Н.В. Грибов, А.М. Мосина*****

*Рязанский государственный радиотехнический университет имени В.Ф. Уткина,
Российская Федерация, Рязань, *milovzorov_542@inbox.ru, **gribov112@yandex.ru,
***nastya.mosina.2002@gmail.com*

Аннотация. В работе рассматриваются принципы разработки унифицированных 3D-моделей машиностроительных деталей в системах САД 3D, позволяющих получать различные конструктивные исполнения детали, отличающиеся наличием или отсутствием отдельных конструктивных элементов, а также 3D-модели заготовки с различными припусками для их изготовления на основе аддитивных технологий.

Ключевые слова: 3D-модели машиностроительных деталей, унифицированные модели, принципы разработки 3D-моделей деталей.

USING CAD 3D-SYSTEMS TO DEVELOP UNIFIED PART MODELS

O.V. Milovzorov*, N.V. Gribov, A.M. Mosina*****

*Ryazan State Radio Engineering University named after V.F. Utkin,
Russia, Ryazan, *milovzorov_542@inbox.ru, **gribov112@yandex.ru, ***nastya.mosina.2002@gmail.com*

The summary. The paper discusses the principles of developing unified 3D models of mechanical engineering parts in CAD 3D systems, which allow to obtain different modifications of the part, differing in the presence or absence of individual structural elements, as well as 3D models of the workpiece with different allowances for their manufacture based on additive technologies

Keywords: 3D models of machine building parts, unified models, principles of development of 3D models of parts.

Введение

Современное машиностроительное производство развивается в направлении всестороннего повышения эффективности, включая процессы проектирования конструкторской документации, конструкторско-технологической подготовки производства, повышения качества изделий, снижения непроизводительных расходов.

Среди различных факторов, обеспечивающих повышение эффективности конструкторско-технологического проектирования, на первом месте, безусловно, стоят системы САД-САМ-САЕ [1-2], прочное место среди которых занимают и такие отечественные программные продукты, как Компас, T-Flex, Спрут-Sprut. Благодаря инструменту параметризации эти системы позволяют быстро и эффективно выполнить моделирование конструкции машиностроительной детали и сборочного узла в целом [3-4]. Важным моментом, выгодно отличающие отечественные системы от зарубежных является возможность в рамках интегрированной САПР выполнить разработку не только самой конструкции детали и управляющей программы ее обработки на станках с ЧПУ, но и комплекта документации маршрутно-операционного технологического процесса, который, как известно, является специфической особенностью российского машиностроительного производства [5-7].

САД-системы с развитым инструментарием параметризации позволяют выполнять разработку на их основе таких 3D-моделей, с помощью которых существенно упрощается процесс проектирования различных модификаций машиностроительных деталей, отличающихся как различными размерами, так и наличием или отсутствием отдельных конструктивных элементов, становится возможным создание 3D-моделей, обеспечивающих формирование целого комплекса конструктивно подобных деталей без какой-либо доработки базовой модели, а только лишь изменением значений переменных [8-11]. Такие системы являются уже интеллектуальными системами, имеющими значительные возможности по автоматическому проектированию моделей машиностроительных деталей и узлов с использованием баз знаний, содержащих как информацию о различных модификациях деталей, так и способах проектирования их 3D-моделей. Для реализации таких систем необходима соответствующая теоретическая проработка [12-13].

Другой сложно решаемой проблемой машиностроительного производства является повышение коэффициента использования материала. Если в производстве используются заготовки из сортового проката – круг, полоса, квадрат и др., снизить непроизводительные отходы в виде стружки фактически нереально. В этих условиях все большее применение находят технологии, обеспечивающие минимизацию отходов – непосредственное изготовление детали на основе аддитивных технологий [14], использование заготовок, получаемые путем точного литья по выплавляемым и, особенно, газифицируемым моделям.

3D-модель детали может быть непосредственно использована для ее печати на 3D-принтере, однако, если деталь должна иметь поверхности, выполненные с высокой точностью и малыми высотами микронеровностей, то для получения требуемого качества все равно необходима механическая обработка. Именно таким образом реализуется изготовление деталей на гибридных 3D-принтерах – технологических установках, сочетающих 3D-принтер по металлу и высокоточный обрабатывающий центр, позволяющий выполнять послойную точную финишную обработку поверхностей по мере наращивания отпечатанных слоев. Это означает, что 3D-модель детали должна иметь пусть и незначительные, но достаточные для получения требуемой точности припуски.

Если же для изготовления детали используется заготовка, полученная точным литьем по выплавляемым или газифицируемым моделям, то здесь также возникает необходимость в 3D-модели детали с припусками на точную обработку, на основе которой с использованием тех же аддитивных технологий, но уже с пластическими материалами, такими, как пенополистирол, может быть получена требуемая физическая модель для заготовки.

Унифицированная модель 3D-детали

Под унифицированной 3D-моделью детали будем понимать модель, позволяющую формировать различные конструктивные исполнения данной детали, отличающиеся наличием или отсутствием отдельных конструктивных элементов, различным сочетанием размеров, а также возможностью формирования на основе базовой модели детали соответствующей модели заготовки с возможностью задания припусков на основные конструктивные размеры.

Для создания такой 3D-модели целесообразно использовать возможности, предоставляемые параметрическими CAD 3D системами. В качестве инструмента для реализации модели возьмем российский программный комплекс T-Flex. Данный комплекс, помимо параметрической CAD 3D системы, содержит в себе различные системы, обеспечивающие автоматизированную конструкторско-технологическую подготовку производства, включая систему PLM T-Flex DOCs, систему разработки управляющих программ для станков с ЧПУ T-Flex ЧПУ, систему выполнения инженерных расчетов T-Flex Анализ. Наличие такого программного обеспечения позволит эффективно использовать разработанную унифицированную 3D-модель детали для комплексного решения проблемы конструкторско-технологической подготовки производства данных изделий. Наконец, как отмечают многие пользователи, система T-Flex CAD 3D по сравнению с другими системами обладает наиболее развитым инструментарием для параметризации.

Для выполнения унифицированной 3D-модели можно воспользоваться различными инструментами, представляемыми T-Flex CAD 3D, рассмотрим их.

1. Использование выражений при черчении контур образующих линий построения.

Например, если длина детали задана параметром L , а геометрические построения выполняются относительно центра симметрии детали, то крайняя левая и крайняя правая горизонтальные линии на виде сверху могут быть построены координат чертежа на расстояниях

$$S = \pm \left(\frac{L}{2} \pm Pr \right),$$

где Pr – припуск на заготовку. Знаки «+» и «-» устанавливаются с учетом того, что в 3D-пространстве детали на виде сверху положительное направление по оси X располагается слева от начала координат, а отрицательное – справа.

Аналогичные выражения используются и для построения вертикальных линий построения, а также горизонтальных и вертикальных контурных линий внутренних полостей детали.

Принимая различные значения параметра Pr , можно получить 3D-модели заготовки с различной величиной припуска – в зависимости от используемых технологий литья и дальнейшей механической обработки, а обнуляя значение Pr , получаем 3D-модель готовой детали, на основе которой возможна разработка программы ее обработки на станке с ЧПУ. На рисунке 1 показан чертеж с параметрами линий построения для плиты с внутренним карманом, где L и B – длина и ширина плиты, L_k и B_k – длина и ширина кармана, Pr – припуск на заготовку. На рисунке 2 показаны 3-D модели заготовки из пенополистирола и стальной детали, полученные на основе унифицированной модели.

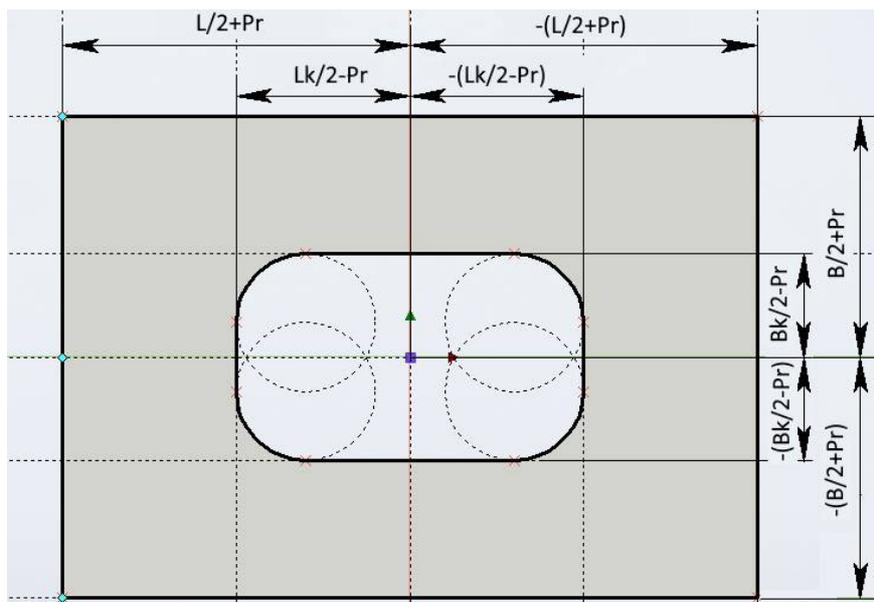


Рис. 1. Чертеж вида сверху для формирования унифицированной 3D-модели плиты с внутренним карманом

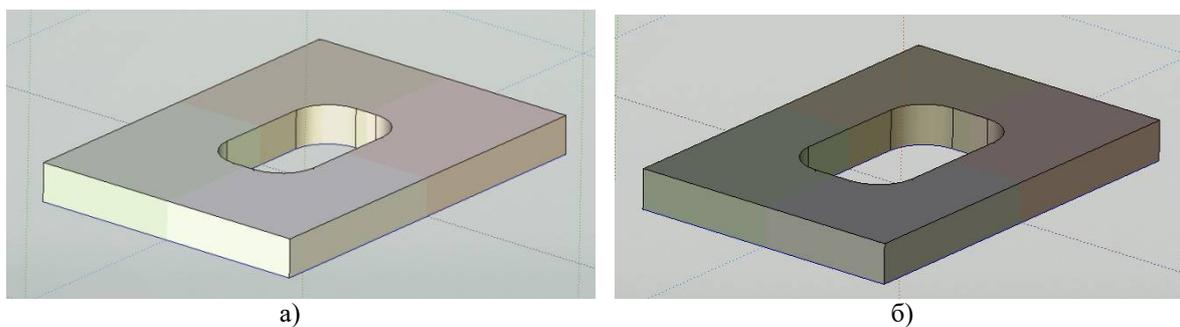


Рис. 2. 3D-модели заготовки (а) и детали (б)

2. *Использование внутренних баз данных для задания размеров различных исполнений детали.* В этом случае строки таблицы будут содержать численные значения параметров для соответствующих исполнений, причем номер исполнения будет соответствовать номеру строки. В таблице параметров будут содержаться операторы обращения к внутренней базе данных, присвоение переменным нужных значений, при этом номер исполнения будет задаваться пользователем каждый раз при обращении к файлу 3D-модели

3. Построение линий построения для элементов детали, следующих один за другим, где каждый последующий элемент опирается на ранее построенный, в той же последовательности. При этом линия построения каждого последующего элемента должна опираться на предыдущую, т.е. строиться относительно нее. Это позволяет убирать из унифицированной модели отдельные конструктивные элементы путем присвоения нулевых значений параметрам отсутствующего конструктивного элемента.

Создание 3D-модели детали

Рассмотрим процесс создания унифицированной 3D-модели на примере детали *Ручка* (рис. 3).

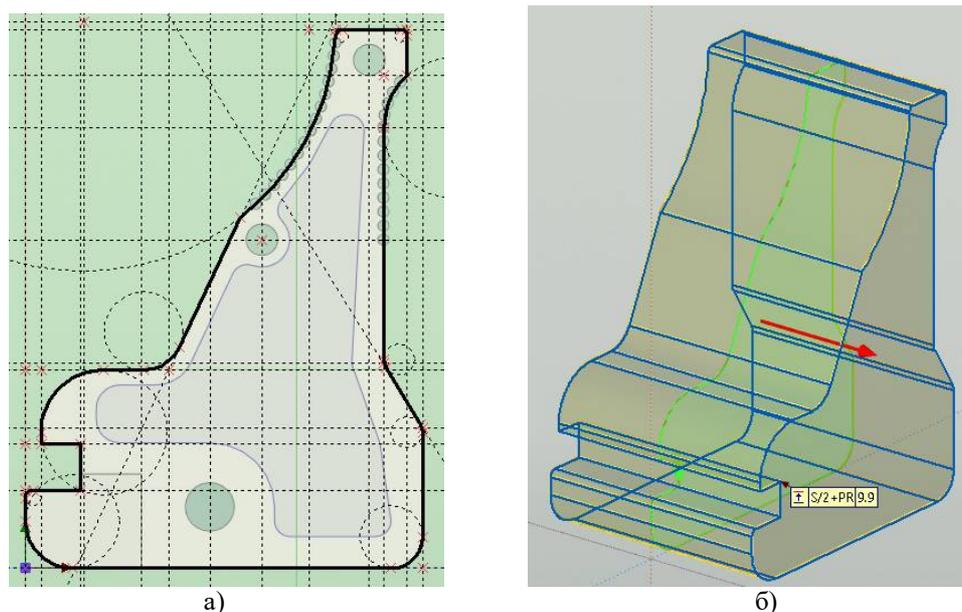


Рис. 4. Формирование грубой 3D-модели заготовки: а) – внешний контур на виде спереди, б) – результат операции выгалкивания

Для формирования отмеченных конструктивных элементов необходимо создание дополнительных рабочих плоскостей. Для отверстий выбирается вид спереди, рабочая плоскость при этом выполняется без смещения, а для выемок плоскости смещаются на величину $\pm(S/2+PR)$, где S – толщина детали, а PR – припуск.

Контура отверстий выгалкиваются на величину $S/2+PR$ с симметричным обратным направлением, после чего полученные вспомогательные тела вычитаются из основного тела детали. Аналогичным образом формируются и выемки. Результат вышеупомянутых действий представлен на рисунке 5.

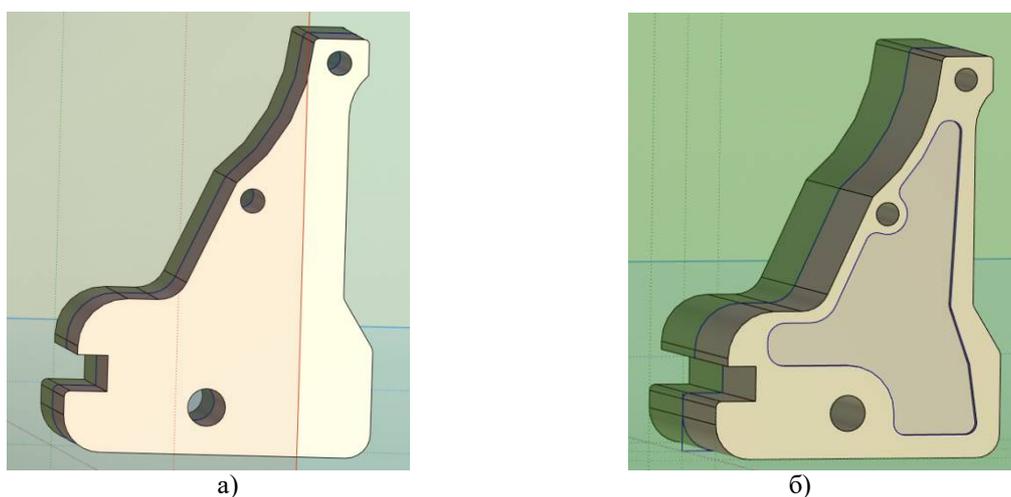


Рис. 5. Формирование элементов на боковых сторонах детали: а) – формирование отверстий, б) – формирование выемок

Далее создается внутренняя полость детали, формируемая из двух контуров. Первый контур – на рабочей плоскости от вида спереди без смещения. Выгалкивание осуществляется на расстояние $S/2+PR$, где S – ширина внутренней полости, с симметричным обратным направлением. Второй контур формируется на рабочей плоскости от вида слева, он также задается и выгалкивается с размерами, заданными параметрически и берущимися из внутренней

базы данных модели. На рисунке 6 показаны контуры и полученные в результате выталкивания и вычитания вспомогательных тел результаты формирования 3D-модели.

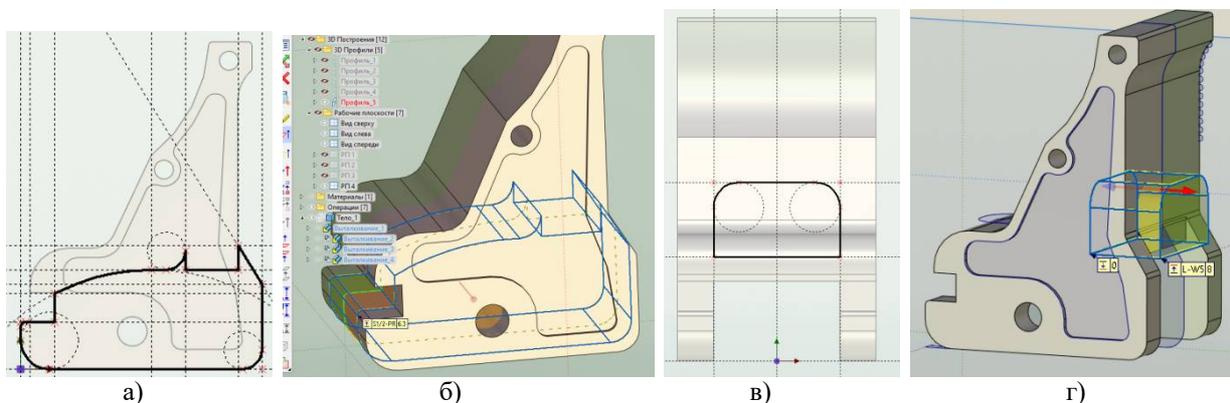


Рис. 6. Формирование внутренних полостей:

- а) – формирование первого контура; б) – выталкивание первого контура;
в) – формирование второго контура; г) – результирующий вид 3D-модели

Следующим шагом выполняется отверстие, изображенное на размере А-А, для чего создается дополнительная рабочая плоскость, параметрически смещенная от вида сверху. На рабочей плоскости чертится контур отверстия и так же выталкиваем с симметричным обратным направлением создается тело полости. После выполнения булевой операции вычитания модель детали примет вид, показанный на рисунке 7.

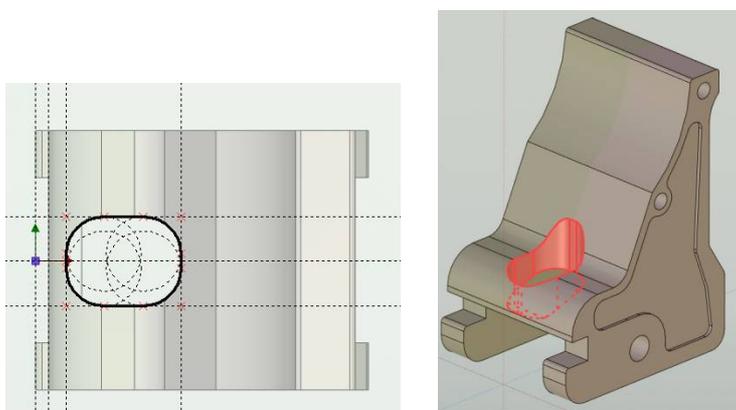


Рис. 7. Выполнение отверстия, представленного на виде А-А: а) – формирование контура;
б) – окончательный вид модели

На заключительном этапе формируются рифленые поверхности ручки и скосы. Схема формирования контуров рифлений показана на рисунке 8 а, схема формирования контуров скосов – на рисунке 8 б. Эти «лишние» части 3D-тела удаляются по ранее упомянутой схеме – формирование вспомогательного тела и его дальнейшее вычитание. Итоговый вид 3D-моделей детали и заготовки показан на рисунках 8 в и 8 г.

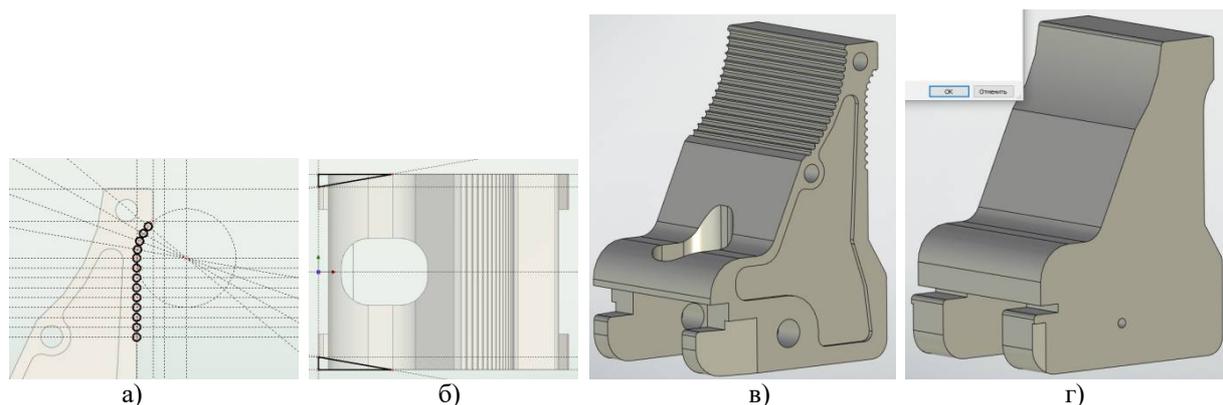


Рис. 8. К формированию 3D-модели: а) – схема формирования рифлений; б) – контуры для формирования скосов; в) – окончательный вид модели детали; г) – окончательный вид модели заготовки

Заключение

Разработанная методика позволяет выполнять формирование унифицированных 3D-моделей машиностроительных деталей, обеспечивающих автоматическое создание модификаций детали, отличающихся набором конструктивных особенностей, а также модели заготовок для дальнейшего их изготовления на основе аддитивных технологий.

Библиографический список

1. Обзор популярных систем автоматизированного проектирования (CAD) [Электронный ресурс] // URL: <https://www.pointcad.ru/novosti/obzor-sistem-avtomatizirovannogoproektirovaniya> (дата обращения: 27.07.2022).
2. Обзор CAD/CAM/CAE [Электронный ресурс] // URL: <https://portal.tpu.ru/SHARED/k/KSO/Files/TomskCAD/CAD/CAD.htm> (дата обращения: 27.07.2022).
3. Решетникова Е.С., Савельева И.А., Свистунова Е.А. — Геометрическое моделирование и разработка пользовательских библиотек при проектировании объектов машиностроения // Программные системы и вычислительные методы. – 2020. – № 1. – С. 1 - 7. DOI: 10.7256/2454-0714.2020.1.32292 URL: https://nbpublish.com/library_read_article.php?id=3229 (дата обращения: 27.07.2022).
4. Будяков В.В., Щербина С.В., Горис Т. 3D моделирование в машиностроении // В сборнике: Аспекты развития науки, образования и модернизации промышленности. Материалы XIII региональной научно-практической конференции учреждений высшего и среднего Computer Graphics in Material Science, Light Engineering and Design GraphiCon 2022 1058 19–22 September 2022, Ryazan, Russia профессионального образования. 2015. С. 277-280.
5. 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.
6. Миловзоров О.В., Тарабрин Д.Ю. Обобщенная структура как средство автоматизированного проектирования маршрутно-операционных технологических процессов // Вестник РГРТУ. 2014. № S1. С. 59-66.
7. 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.
8. 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.
9. 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.
10. 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.

11. 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.

12. Евгеньев Г.Б., Кокорев А.А., Пиримяшкин М.В. Метод генерации 3D моделей в продукционных базах знаний // Известия высших учебных заведений. Машиностроение. 2015. № 4 (661). С. 38-48.

13. Евгеньев Г.Б., Кокорев А.А., Пиримяшкин М.В. Интеллектуальные системы полуавтоматического проектирования и быстрого прототипирования изделий машиностроения // Евразийский союз ученых. 2015. № 9-2 (18). С. 19-25.

14. Аддитивные технологии в машиностроении // Аддитивные технологии – №2-2022 [Электронный ресурс] // URL: <https://additiv-tech.ru/publications/additivnye-tehnologii-vmashinostroenii.html> (дата обращения: 27.07.2022).

УДК 656.01; ГРНТИ 73.43.01

ИСПОЛЬЗОВАНИЕ ИЕРАРХИЧЕСКОЙ МОДЕЛИ В ПРОЦЕССЕ ОПРЕДЕЛЕНИЯ ЭФФЕКТИВНОСТИ ТРАНСПОРТНОЙ СИСТЕМЫ ГУСТОНАСЕЛЕННОЙ ТЕРРИТОРИИ

Ю.А. Меркулов*, М.В. Ленков, А.П. Беев*****

*Рязанский государственный радиотехнический университет имени В.Ф. Уткина,
Российская Федерация, Рязань, *Merkulov_UA@mail.ru, **lenkov.m.v@rsreu.ru,
***aleksandrveeb@yandex.ru*

Аннотация. В работе рассматривается подход к определению весовых коэффициентов значимости элементов расчета социальной эффективности на основе использования метода анализа иерархий.

Ключевые слова: транспортная система, густонаселенная территория, социальная эффективность, иерархия, иерархическая модель.

USE OF HIERARCHICAL MODEL IN PROCESS OF DETERMINING EFFICIENCY OF TRANSPORT SYSTEM OF DENSE-FILLED AREA

Yu.A. Merkulov*, M.V. Lenkov, A.P. Beev*****

*Ryazan State Radio Engineering University named after V.F. Utkin,
Russian Federation, Ryazan, *Merkulov_UA@mail.ru, **lenkov.m.v@rsreu.ru,
***aleksandrveeb@yandex.ru*

The summary. The paper discusses the approach to determining the weighting factors of the significance of the elements of calculating social efficiency based on the use of the hierarchical analysis method.

Keywords: transport system, densely populated area, social effect-tivity, hierarchy, hierarchical model.

Развитие транспортной системы современного крупного города является важнейшим условием его устойчивого и динамичного развития, так как создает конкурентные преимущества в сфере привлечения населения и инвестиций. Ввиду такой важности развития данной социально-экономической системы, принимаемые решения в сфере ее развития должны носить объективный и научно-обоснованный характер.

Как отмечалось в работе [1] управления развитием городских систем необходимо выявить критерий, отражающий всю совокупность изменений, происходящих в транспортной системе. В качестве такого критерия может выступить критерий эффективности, которая, согласно работе [2] представляет собой степень успешности выполнения функций транспортной системы. При этом, общее понятие эффективности целесообразно декомпозировать на три составляющие:

1. Экономическая эффективность. Представляет собой степень успешности выполнения транспортной системой своих экономических функций, связанных с перемещением пассажиров и грузов из одной части селитебной территории в другую.

2. Социальная эффективность. Представляет собой степень выполнения транспортной системой своих социальных функций, связанных с обеспечением удобства и комфорта населения при его взаимодействии с транспортной системой.

3. Экологическая эффективность. Представляет собой степень выполнения транспортной системой своих экологических функций, связанных с минимизацией негативного воздействия на окружающую среду, и, как следствие, на здоровье городского населения.

В работе [2] отмечается, что для определения социальной эффективности необходимо использование весовых коэффициентов, отражающих значимость каждого из элементов, применяющихся в расчетах. Данные коэффициенты предлагается определять методом экспертных оценок, который не позволяет получить полностью объективную информацию. Для преодоления данных недостатков необходимо применение методов, позволяющих снизить субъективность получаемых данных. Таким методом может стать метод анализа иерархий [3]. В работе [4] подробно описывается применение данного метода в управлении развитием городской транспортной системы.

Необходимо построить иерархическую модель определения весовых коэффициентов значимости. Данная модель представлена на рисунке 1.

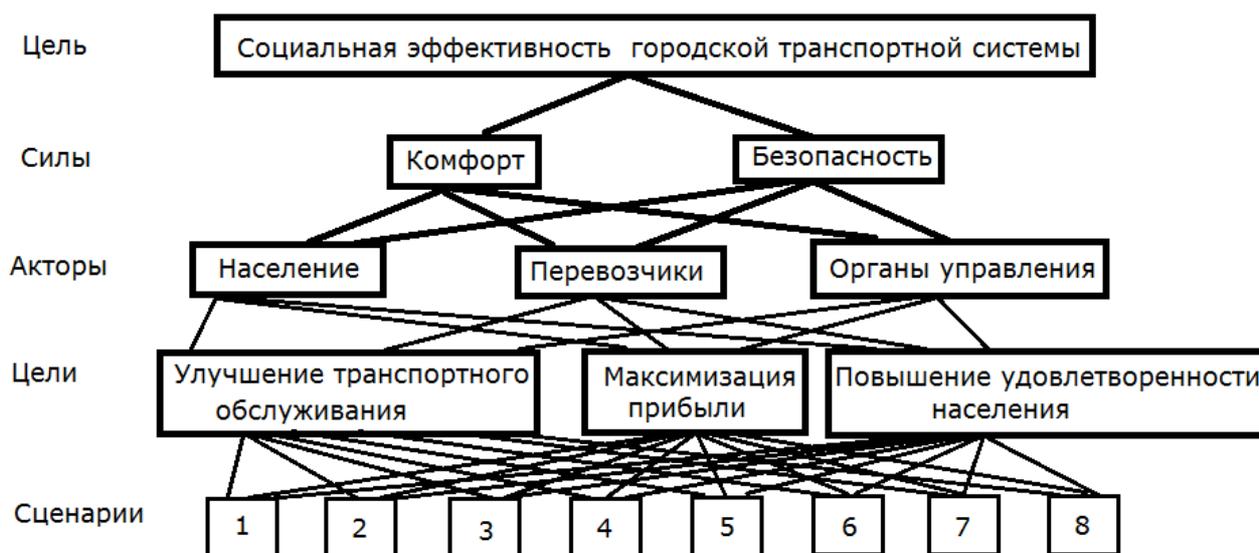


Рис. 1. Иерархическая модель определения весовых коэффициентов значимости

Иерархия имеет пять уровней.

1. Цель – главной целью является повышение социальной эффективности транспортной системы.

2. Силы. В данном случае, главными силами, определяющими социальную эффективность, будут комфорт и безопасность пассажиров.

3. Акторы. В качестве акторов выступают перевозчики городского общественного пассажирского транспорта, население и органы управления.

Перевозчики – это совокупность юридических лиц, индивидуальных предпринимателей и физических лиц, осуществляющих внутригородские пассажирские перевозки.

Население представляет собой совокупность людей, использующих транспортную систему города с целью реализации потребностей в перемещении из одной части городской территории в другую. В данную группу следует отнести, как непосредственно население, так

предприятия и организации, работающие на территории города, а также население, использующее для перемещения личный индивидуальный транспорт.

Органы управления представляют собой органы государственной власти федерального и регионального уровней, а также органы местного самоуправления, оказывающие управленческое воздействие на функционирование и развитие, как транспортной системы в целом, так и отдельных ее элементов.

4. Критерии – показатели, определяющие социальную эффективность деятельности городской транспортной системы для субъектов. В данном случае критериями будут являться: улучшение транспортного обслуживания, максимизация получаемой прибыли, повышения удовлетворенности населения качеством управления

5. Сценарии. В данном случае под сценариями следует понимать элементы, определяющие социальную эффективность. К таким элементам следует отнести: 1 - остановочные комплексы; 2 - остановочная сеть; 3 - пешеходные переходы; 4 - парковочные места; 5 - маршрутная сеть; 6 - возраст транспортных средств; 7- безопасность; 8 - расписание общественного транспорта.

Результаты расчетов по методу анализа иерархий позволяют получить степень влияния сценариев на главную цель, то есть весовые коэффициенты их значимости.

Для проверки работоспособности предлагаемой модели проведем с ее помощью определение коэффициентов значимости указанных элементов для расчета социальной эффективности на примере города Рязани. Определение коэффициентов будет происходить в несколько этапов:

1. Построение матриц попарных сравнений. Для построения матриц были использован экспертный опрос, в качестве экспертов выступили представители научного сообщества, имеющие значительный практический опыт в разработке планов и программ транспортного развития городских территорий. Для построения матриц была использована следующая шкала: 1 – влияние элементов равнозначно; 2 – элемент влияет сильнее; 4 – элемент влияет значительно сильнее.

Были построены и рассчитаны 9 матриц попарных сравнений.

А) 3 матрицы, отражающих влияние Сценариев на Критерии. Пример такой матрицы представлен в таблице 1.

Таблица 1. Матрица попарных сравнений влияния сценариев на Критерий «Улучшение транспортного обслуживания»

	1	2	3	4	5	6	7	8	Сумма	Вектор
1	1	2	0,5	4	1	2	0,5	0,5	11,5	0,13
2	0,5	1	1	2	0,25	4	2	1	11,75	0,14
3	2	1	1	0,5	1	4	2	0,5	12	0,14
4	0,25	0,5	2	1	2	2	1	2	10,75	0,13
5	1	4	1	0,5	1	2	0,5	0,25	10,25	0,12
6	0,5	0,25	0,25	0,5	0,5	1	4	0,5	7,5	0,09
7	2	0,5	0,5	1	2	0,25	1	1	8,25	0,10
8	2	1	2	0,5	4	2	1	1	13,5	0,15

Б) 3 матрицы, отражающих влияние Критериев на Акторы. Пример такой матрицы представлен в табл. 2.

Таблица 2. Матрица попарных сравнений влияния критериев на Актор «Перевозчики»

	Улучшение транспортно-го обслужи-вания	Максимизация прибыли	Повышение удовлетво-ренности	Сумма	Век-тор
Улучшение транспортного обслуживания	1	2	0,5	3,5	0,35
Максимизация прибыли	0,5	1	1	2,5	0,25
Повышение удовлетворенно-сти	2	1	1	4	0,40

В) 2 матрицы, отражающих влияние Акторов на Силы. Пример такой матрицы пред-ставлен в таблице 3.

Таблица 3. Матрица попарных сравнений влияния акторов на Силу «Повышение комфортности»

	Население	Перевоз-чики	Органы управ-ления	Сумма	Вектор
Население	1	0,5	0,5	2	0,2
Перевозчики	2	1	1	4	0,4
Органы управления	2	1	1	4	0,4

Г) 1 матрица, отражающая влияние Сил на Главную цель (табл. 4).

Таблица 4. Матрица попарных сравнений влияния Сил на Главную цель

	Комфорт	Безопасность	Сумма	Вектор
Комфорт	1	0,5	1,5	0,33
Безопасность	2	1	3	0,67

2. Расчет степеней влияния сценариев на главную цель.

Согласно методике, предложенной Т.Саати [1] определим степени влияния сценариев на главную цель. Для этого проведем последовательное перемножение полученных значений векторов приоритетов по каждому из путей от сценария до главной цели. Полученные значения необходимо сложить. Полученные результаты представлены в таблице 5.

Таблица 5. Результаты определения степени влияния сценариев на главную цель

№	Сценарии	Степень влияния
1.	Остановочные комплексы	0,123
2.	Остановочная сеть	0,140
3.	Пешеходные переходы	0,147
4.	Парковочные места	0,130
5.	Маршрутная сеть	0,116
6.	Возраст транспортных средств	0,096
7.	Безопасность	0,102
8.	Расписание общественного транспорта	0,146

Таким образом, предложено использование иерархической модели для определения уровней значимости элементов определения социальной эффективности транспортной системы густонаселенной территории. Для апробации предлагаемого подхода была построена иерархическая модель определения уровней значимости элементов расчета социальной эффективности транспортной системы. Были построены матрицы попарных сравнений и проведены расчеты, позволившие выяснить, что наибольшую значимость для социальной эффективности имеют пешеходные переходы, а наименьшую – возраст транспортных средств. Проведенные вычисления доказывают жизнеспособность предложенного подхода.

Библиографический список

1. Саати Т. Принятие решений. Метод анализа иерархий. М.: Радио и связь, 1993 г.
2. Меркулов Ю.А. Экономическая эффективность городской транспортной системы / Экономико-правовые аспекты реализации стратегии модернизации России: реальные императивы динамичного социоэкономического развития. Сборник статей международной научно-практической конференции, г. Краснодар, 2014 г.
3. Беев А.П., Меркулов Ю.А. Урбанизационная функция городской транспортной системы / Современные технологии в науке и образовании – СТНО-2018 [текст]: сб. тр. междунар. науч.-техн. форума: в 10 т. Т.7./ под общ. ред. О.В. Миловзорова.
4. Беев А.П., Меркулов Ю.А. Управление развитием городской транспортной системы на основе иерархической модели/ Современные технологии в науке и образовании – СТНО-2022 [текст]: сб. тр. V междунар. науч.-техн. форума: в 10 т. Т.7./ под общ. ред. О.В. Миловзорова. – Рязань: Рязан. гос. радиотехн. ун-т, 2022.

УДК 656.01; ГРНТИ 73.43.01

РАЗРАБОТКА ПРИКЛАДНОЙ МОДЕЛИ ЭФФЕКТИВНОСТИ ГОРОДСКОЙ ТРАНСПОРТНОЙ СИСТЕМЫ

Ю.А. Меркулов*, М.В. Ленков**

*Рязанский государственный радиотехнический университет имени В.Ф. Уткина, Российская Федерация, Рязань, *Merkulov_UA@mail.ru, Рязань, **lenkov.m.v@rsreu.ru*

Аннотация. В работе проводится разработка модели определения эффективности городской транспортной системы. Модель основана на разделении эффективности на три вида, нормирование относительно эталонных значений и нахождении интегральных оценок.

Ключевые слова: городская транспортная система, эффективность городской транспортной системы, экономическая эффективность, социальная эффективность, экологическая эффективность, нормирование, интегральные оценки.

DEVELOPMENT OF AN APPLIED MODEL OF URBAN TRANSPORT SYSTEM EFFICIENCY

Y.A. Merkulov*, M.V. Lenkov**

*Ryazan State Radio Engineering University named after V.F. Utkin, Russia, Ryazan, *Merkulov_UA@mail.ru, **lenkov.m.v@rsreu.ru*

The summary. The paper is developing a model for determining the effectiveness of the urban transport system. The model is based on dividing efficiency into three types, normalizing relative to reference values and finding integral estimates.

Keywords: urban transport system, efficiency of urban transport system, economic efficiency, social efficiency, ecological efficiency, rationing, integral assessments.

Принятие решений в отношении текущего функционирования и развития социально-экономических систем и комплексов необходимо наличие критерия, позволяющего оценить результаты реализованного управленческого воздействия. Таким показателем для городской транспортной системы, по аналогии с другими социально-экономическими системами может стать показатель эффективности [1]. Современные подходы к определению самого понятия и сущности эффективности городской транспортной системы отличаются неполнотой и раз-

розненностью, что приводит к необходимости разработки новых подходов к рассматриваемому вопросу. В связи с данными обстоятельствами представляется целесообразным разработка новых подходов к определению эффективности городской транспортной системы – модели эффективности городской транспортной системы. В работе [1] были предложены общие подходы к созданию модели определения эффективности транспортной системы города. Дальнейшая разработка предлагаемых подходов, дала возможность создания полноценной модели определения рассматриваемого параметра.

Как и в работе [1] в своей основе модель имеет некоторые основополагающие принципы, количество которых было расширено с трех до четырех, а именно:

1. Эффективность городской транспортной системы целесообразно рассматривать, как степень соответствия городской транспортной системы запросам к ней со стороны потребителей ее услуг.

2. Учитывая, что транспортная система города имеет экономические и социальные функции, а также является источником выбросов в окружающую среду, то эффективность городской транспортной системы целесообразно рассмотреть, как совокупность экономической, социальной и экологической составляющих.

$$\text{Эгтс} = F(\text{Ээ}; \text{Эс}; \text{Ээкол}), \quad (1)$$

где Эгтс – эффективность городской транспортной системы;

Ээ – экономическая эффективность;

Эс – социальная эффективность;

Ээкол – экологическая эффективность.

3. Определение эффективности осуществляется посредством операции нормирования фактических значений выявленных показателей к эталонным. Экономическую эффективность необходимо рассматривать через время совершения поездок, социальную – через соответствие объектов городской транспортной системы потребностям потребителей транспортных услуг.

4. Определение эффективности осуществляется на основе сравнения фактического значения показателя, выбранного в качестве критерия эффективности с его эталонным значением (2).

$$x_i = \Phi_i / \mathcal{E}_i, \quad (2)$$

где x_i – оценка i -го элемента эффективности;

Φ_i – фактическое значение показателя эффективности i -го элемента.

\mathcal{E}_i – эталонное значение показателя эффективности i -го элемента.

i – количество элементов оценки.

Таким образом, итоговое значение варьируется в интервале от 0 до 1, при том, что 0 является наихудшим значением, а 1 – наилучшим.

На основе вышеозначенных принципов была разработана модель определения эффективности городской транспортной системы, которая затем подверглась корректировке и конкретизации. В соответствии со вторым принципом была разработана методика расчета каждой из трех составляющих эффективности городской транспортной системы.

Экономическая эффективность может определяться на основе критерия минимизации времени передвижения в рамках городской территории (3):

$$\text{Ээ} = \sum((T_{отг} * P_{отг}) / T_{отф}) + \sum((T_{итг} * P_{итг}) / T_{итф}), \quad (3)$$

где Ээ – значение экономической эффективности;

Тотэ – матрица эталонного времени движения на общественном транспорте;
 Ріот – матрица долей корреспонденций по общественному транспорту;
 Тотф – матрица фактического времени движения на общественном транспорте;
 Титэ – матрица эталонного времени движения на личном индивидуальном транспорте;
 Ріит – матрица долей корреспонденций по общественному транспорту;
 Титф – матрица фактического времени движения на личном индивидуальном транспорте.

Все рассматриваемые матрицы формируются на основе транспортных районов города и совпадают по размерности с матрицей корреспонденций. Транспортный район представляет собой участок городской территории, обладающий достаточной численностью проживающего населения и относительной транспортной замкнутостью.

Эталонное время движения на общественном транспорте при максимально разрешенной скорости в 60 км/ч и расстоянии между остановочными комплексами равном 500 м определяется по формуле (4):

$$Тотэ = S_{\min мс} / 20, \quad (4)$$

где $S_{\min мс}$ – минимальное расстояние по маршрутной сети.

Фактическое время передвижения на общественном транспорте определяется путем натуральных замеров времени движения общественного транспорта по минимальным расстояниям по маршрутной сети между транспортными районами города.

Эталонное время движения на личном индивидуальном транспорте при максимально разрешенной скорости в 60 км/ч определяется по формуле (5):

$$Титэ = S_{\min удс} / 60, \quad (5)$$

где $S_{\min удс}$ – минимальное расстояние по улично-дорожной сети.

Фактическое время передвижения на личном индивидуальном транспорте определяется путем натуральных замеров времени движения личного индивидуального транспорта по минимальным расстояниям по улично-дорожной сети между транспортными районами города.

Матрицы долей корреспонденций по соответствующим видам транспорта определяется путем нормирования значений каждой ячейки матрицы корреспонденций, построенной по соответствующему виду транспорта к сумме значений всех ячеек соответствующей матрицы. Присутствие в расчетах данных показателей позволяет учесть степень связанности и значимости различных районов для городского населения.

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 с суммой весовых коэффициентов равной 1 (6):

$$Эс = \sum_{i=1}^8 (x_i * a_i), \quad (6)$$

где $Эс$ – социальная эффективность городской транспортной системы;

x_i – состояние i -го элемента городской транспортной системы;

a_i – весовой коэффициент уровня значимости i -го элемента городской транспортной системы.

Проведена корректировка количества элементов, включаемых в расчет социальной эффективности. Исключены те элементы, характеристики которых учтены в экономической эффективности, а также дополнительно введен элемент безопасности. В качестве элементов,

по которым осуществляется определение социальной эффективности городской транспортной системы используются следующие ее структурные части:

1) Остановочные комплексы. Состояние данных объектов определяется по следующей формуле (7):

$$x_1 = \sum_{i=1}^n (x_{нф} / x_{нэ}) / n, \quad (7)$$

где $x_{нф}$ – фактическое состояние остановочного комплекса;

$x_{нэ}$ – эталонное состояние остановочного комплекса;

n – количество остановочных комплексов.

Эталонным состоянием остановочного комплекса является состояние, полностью соответствующее существующим стандартам [2]. Соответствие остановочных комплексов существующим стандартам определяется посредством осуществления статистического наблюдения по следующим параметрам: а) наличие освещения остановочного пункта; б) наличие указателя с названием остановочного пункта, указанием проходящих через него маршрутов городского общественного транспорта, интервалов его движения; в) наличие «карманов», представляющих собой расширения полотна дороги в районе остановочного пункта, используемые для заезда общественного транспорта; г) наличие павильона или навеса; д) наличие урны.

Остановочный комплекс считается полностью соответствующим требованиям стандарта, если соблюдены все вышеозначенные условия, в противном случае, рассчитывается процент соответствия требованиям стандарта, при этом весовые коэффициенты не применяются ввиду равной важности всех указанных элементов.

2) Остановочная сеть. Расстояние между остановочными пунктами на основании существующих стандартов должно составлять 0,5 км [2], следовательно, уровень соответствия можно определить по следующей формуле (8):

$$x_2 = (S_{мск} / O_c) / 0,5, \quad (8)$$

где $S_{мск}$ – длина маршрутной сети городского общественного пассажирского транспорта без учета дублирования маршрутов;

O_c – количество остановочных комплексов.

3) Пешеходные переходы. Количество пешеходных переходов должно быть таким, чтобы обеспечивать возможность безопасного пересечения людьми проезжей части на всей территории города. Уровень соответствия можно определить по формуле (9):

$$x_3 = (P_f / P_э), \quad (9)$$

где P_f – фактическое количество пешеходных переходов на городской территории;

$P_э$ – эталонное количество пешеходных переходов на территории города.

Эталонное количество пешеходных переходов определяется, как сумма количества остановочных комплексов городского пассажирского транспорта и количества мест массового притяжения корреспонденций населения.

4) Парковочные места. Количество парковочных мест должно обеспечивать возможность оставления личных индивидуальных транспортных средств без создания помех транспортному движению. Уровень соответствия можно определить по формуле (10):

$$x_4 = (P_k / 0,75Av), \quad (10)$$

где P_k – количество парковочных мест в городе;

A_v – количество личных индивидуальных транспортных средств у городского населения.

5) Маршрутная сеть. Состояние маршрутной сети определяется тремя основными коэффициентами: коэффициентом покрытия [3], коэффициентом пересадочности [5], показателем линейности сети [3]. Учитывая равнозначность рассматриваемых коэффициентов, то общий уровень соответствия маршрутной сети можно определить по формуле (11):

$$x_5 = 0,33(K_{\text{пок}} + (K_{\text{перэ}}/K_{\text{перф}}) + (Плсф/Плсэ)), \quad (11)$$

где $K_{\text{пок}}$ – коэффициент покрытия (изменяется в интервале от 0 до 1, следовательно, в нормировании не нуждается);

$K_{\text{перэ}}$ – эталонное значение коэффициента пересадочности;

$K_{\text{перф}}$ – фактическое значение коэффициента пересадочности;

$Плсф$ – фактическое значение показателя линейности сети;

$Плсэ$ – эталонное значение показателя линейности сети.

Эталонные значения указанных показателей являются справочными величинами [3], фактические значения – определяются по известным для этого формулам [5].

6) Возраст транспортных средств городского общественного пассажирского транспорта. Уровень соответствия определяется по формуле (12):

$$x_6 = \sum_{i=1}^n (V_f / V_э) / n, \quad (12)$$

где V_f – фактический возраст транспортного средства городского общественного пассажирского транспорта;

$V_э$ – эталонный возраст транспортного средства городского общественного пассажирского транспорта;

n – количество транспортных средств городского общественного пассажирского транспорта.

Фактический возраст определяется на основе статистической информации, эталонный возраст определяется, как половина возраста до планового капитального ремонта данной категории транспортных средств.

7) Безопасность. Показателем, характеризующим безопасность населения в рамках городской транспортной системы является показатель социального риска – количества человек, погибших в результате дорожно-транспортных происшествий за 1 год в расчете на 10 000 человек населения [2]. Нормативный уровень социального риска законодательно установлен на уровне 4 [2]. Следовательно, уровень соответствия можно определить по формуле (13):

$$x_7 = 4 / ((ПДДл * 1000) / N), \quad (13)$$

где $ПДДл$ – количества человек, погибших в результате дорожно-транспортных происшествий за 1 год;

N – среднегодовая численность населения.

Количества человек, погибших в результате дорожно-транспортных происшествий за 1 год определяется на основе официальной статистики ГИБДД.

8) Расписание общественного транспорта. Расписание определяется интервалами движения транспортных единиц городского общественного пассажирского транспорта по каждому регулярному маршруту внутригородских пассажирских перевозок. Величина интервала должна обеспечивать комфортный проезд для пассажира и позволять перевозчику получать достаточный уровень прибыли. Уровень соответствия определяется по формуле (14):

$$x_8 = \sum_{i=1}^n (I_{\text{э}}/I_{\text{ф}}), \quad (14)$$

где $I_{\text{э}}$ - эталонная величина интервалов движения транспортных единиц городского общественного пассажирского транспорта по данному маршруту;

$I_{\text{ф}}$ - фактическая величина интервалов движения транспортных единиц городского общественного пассажирского транспорта по данному маршруту.

Эталонное значение величины интервалов движения транспортных единиц городского общественного пассажирского транспорта по данному маршруту определяется по формуле (15):

$$I_{\text{э}} = (60V_{\text{мн}} * K) / \text{ПП}, \quad (15)$$

где $V_{\text{мн}}$ – номинальная вместимость транспортных единиц городского общественного пассажирского транспорта, осуществляющих движение по данному маршруту;

K - коэффициент комфортной заполненности единицы городского общественного пассажирского транспорта, осуществляющей движение по данному маршруту;

ПП – часовая мощность пассажиропотока по данному маршруту регулярных городских перевозок.

Интегральный уровень социальной эффективности определяется посредством аддитивной свертки, весовые коэффициенты для расчета определяются экспертным путем.

Экологическая эффективность определяется посредством выявления превышения концентрации вредных веществ, выбрасываемых автомобильным транспортом в воздушный бассейн города над допустимыми концентрациями. Расчет производится по формуле (16):

$$\text{Э}_{\text{экол}} = \sum_{i=1}^n (\text{ПДК}_i / K_{\text{ф}i}) / n, \quad (16)$$

где ПДК_i – предельно допустимая концентрация i -го загрязняющего вещества;

$K_{\text{ф}i}$ - фактическая концентрация i -го загрязняющего вещества;

n – количество загрязняющих веществ, выбрасываемых транспортом.

Особенностью расчета является то, что при $\text{ПДК}_i < K_{\text{ф}i}$ значение дроби принимается равным 1 (предельно допустимая концентрация не превышена, следовательно, негативного влияния на человека не наблюдается).

К загрязняющим веществам при данном расчете относят диоксид азота, углекислый газ, угарный газ. Значения предельно допустимых концентраций определены в актуальных нормативах [3], значение фактических концентраций определяется по данным регулярного экологического мониторинга.

Нахождение общей эффективности городской транспортной системы производится посредством аддитивной свертки. При условии, что все три вида эффективности имеют равное значение, применение весовых коэффициентов становится нецелесообразным, что позволяет определить общее значение эффективности по следующей формуле (17):

$$\text{Э}_{\text{гтс}} = (\text{Э}_{\text{э}} + \text{Э}_{\text{с}} + \text{Э}_{\text{экол}}) / 3. \quad (17)$$

Полученный результат будет находиться в интервале от 0 до 1, при этом наихудшим значением будет являться 0, а наилучшим значением будет являться 1.

Проведем **апробацию предложенной модели** на отдельном участке густонаселенной территории города Рязани.

На рисунке 1 представлен рассматриваемый участок территории города Рязани. На нем проведено районирование с выделением транспортных районов.

Таблица 4. Матрица эталонного времени движения на индивидуальном транспорте

	1	2	3	4
1	2	20	25	15
2	20	2	10	15
3	25	10	2	10
4	15	15	10	2

Таблица 5. Матрица долей корреспонденций по индивидуальному транспорту

	1	2	3	4
1	0,0055	0,0165	0,055	0,0495
2	0,033	0,0055	0,055	0,0385
3	0,0385	0,055	0,0055	0,044
4	0,044	0,0495	0,0495	0,0055

Таблица 6. Матрица фактического времени движения на индивидуальном транспорте

	1	2	3	4
1	2	19	26	19
2	19	2	14	13
3	26	14	2	12
4	19	13	12	2

Произведя расчеты по формуле (3) получаем результат:

$$\varepsilon = 0,38.$$

Полученные результаты иллюстрируют недостаточное значение уровня экономической эффективности, что подтверждается наличием транспортных заторов в центральных районах города.

Для определения социальной эффективности приведем эталонные и фактические значения показателей, характеризующих каждый из элементов расчета (табл. 7). Показатели получены посредством математических расчетов и натурных наблюдений, реализованных в ходе предыдущих научных исследований.

Таблица 7. Исходные данные для определения социальной эффективности

№	Элемент социальной эффективности	Эталонное значение	Фактическое значение
1.	Остановочные комплексы	1	0,75
2.	Остановочная сеть	0,5	0,67
3.	Пешеходные переходы	38	36
4.	Парковочные места	6870	4520
5.	Маршрутная сеть	0,8	0,6
6.	Возраст транспортных средств	8	12
7.	Безопасность	4	2
8.	Расписание общественного транспорта	1	0,8

Согласно разработанной методике были определены значения социальной эффективности по каждому элементу и их взвешенные значения. Значения весов были определены посредством экспертных оценок. Полученные результаты представлены в таблице 8.

Таблица 8. Результаты расчета социальной эффективности по отдельным элементам

№	Элемент социальной эффективности	Оценка	Вес	Взвешенная оценка
1.	Остановочные комплексы	0,75	0,05	0,04
2.	Остановочная сеть	0,75	0,05	0,04
3.	Пешеходные переходы	0,95	0,15	0,14
4.	Парковочные места	0,66	0,1	0,07
5.	Маршрутная сеть	0,75	0,15	0,11
6.	Возраст транспортных средств	0,67	0,15	0,10
7.	Безопасность	1,00	0,2	0,20
8.	Расписание общественного транспорта	0,80	0,15	0,12

Просуммировав взвешенные оценки, получаем общее значение социальной эффективности:

$$Эс=0,82.$$

Расчеты показали достаточно высокий уровень социальной эффективности в рассматриваемой части густонаселенной территории.

Для определения экологической эффективности необходимо привести данные о нормативах и фактических значениях концентрации загрязняющих веществ в воздушном бассейне города Рязани. Данная информация приведена в таблице 9.

Таблица 9. Показатели для расчета экологической эффективности

№	Загрязняющее вещество	Фактическая концентрация	Норматив	Оценка
1.	Угарный газ	0,3	3	1
2.	Оксид азота	0,006	0,06	1

$$Ээкол=1.$$

После расчета всех составляющих эффективности можно определить общую эффективность городской транспортной системы по формуле (17).

$$Эгтс=(0,38+0,82+1)/3=0,73.$$

Общий уровень эффективности достаточно высок, что обусловлено высокими уровнями социальной и экологической эффективности.

Таким образом, разработана модель определения эффективности городской транспортной системы, основанная на принципе функционального соответствия, получила свое дальнейшее развитие. В основу модели положена декомпозиция эффективности на три вида (экономическую, социальную и экологическую), нормирование показателей, определяющих состояние частей транспортной системы и нахождение интегральных оценок. Предложенная модель позволяет не только определить текущее состояние городской транспортной системы при различных наборах ее исходных параметров, но и произвести подбор параметров для максимально возможного увеличения ее эффективности. Использование данной модели для процесса подбора параметров, позволяет формировать научную основу для принятия решений в сфере развития транспортных комплексов густонаселенных территорий. Проведенная апробация подтвердила жизнеспособность разработанной модели.

Библиографический список

1. Меркулов Ю.А. Разработка модели эффективности городской транспортной системы/ Современные технологии в науке и образовании – СТНО-2022 [текст]: сб. тр. междунар. науч.-техн. форума: в 10 т. Т.7./ под общ. ред. О.В. Миловзорова.

2. Распоряжение Правительства РФ от 19 марта 2013 года N 384-р «Об утверждении схемы территориального планирования Российской Федерации в области федерального транспорта (железнодорожного, воздушного, морского, внутреннего водного транспорта) и автомобильных дорог федерального значения» (с изменениями на 26 октября 2017 года).

3. Беев А.П., Меркулов Ю.А., Перфильев С.В., Федотов Н.И. Анализ и оптимизация городской транспортной системы / Сборник трудов XXVIII Международной научной конференции «Математические Методы в Технике и Технологиях ММТТ- 28», Рязань, РГРТУ, 24-26 ноября 2015г.

4. Меркулов Ю.А. Экономическая эффективность городской транспортной системы / Экономико-правовые аспекты реализации стратегии модернизации России: реальные императивы динамичного социоэкономического развития. Сборник статей международной научно-практической конференции, г. Краснодар, 2014 г.

5. Беев А.П., Меркулов Ю.А. Урбанизационная функция городской транспортной системы / Современные технологии в науке и образовании – СТНО-2018 [текст]: сб. тр. междунар. науч.-техн. форума: в 10 т. Т.7./ под общ. ред. О.В. Миловзорова.

СЕКЦИЯ «ИНФОРМАЦИОННО-ИЗМЕРИТЕЛЬНЫЕ УСТРОЙСТВА И СИСТЕМЫ В ТЕХНИКЕ И МЕДИЦИНЕ»

УДК 621.3.087.92; ГРНТИ 90.27.34

МЕТОД СМЕЩЕННОЙ ГИСТОГРАММЫ ПРИ МЕТРОЛОГИЧЕСКИХ ИСПЫТАНИЯХ ПАРАЛЛЕЛЬНЫХ АЦП

А.М. Абрамов

Рязанский государственный радиотехнический университет имени В.Ф. Уткина, Российская Федерация, Рязань, abramov.a.job@yandex.ru

Аннотация. В работе предлагается новый метод метрологического испытания АЦП, основанный на известном гистограммном методе, для определения дифференциальной (DNL) и интегральной (INL) нелинейности АЦП. Новый метод использует в качестве входного сигнала два связанных нелинейных сигнала треугольной формы.

Ключевые слова: АЦП, интервал квантования, гистограммный метод, дифференциальная нелинейность, интегральная нелинейность, смещение.

BIASED HISTOGRAM METHOD IN METROLOGICAL TESTS OF FLASH ADCS

А.М. Abramov

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

The summary. This paper proposes a new method of ADC metrological testing based on the known histogram method used to measure differential (DNL) and integral (INL) nonlinearity of ADCs. The new method uses two coupled nonlinear triangular-shaped signals as an input signal.

Keywords: ADC, quantization interval, histogram method, differential nonlinearity, integral nonlinearity, offset.

Традиционным методом измерения дифференциальной (DNL) и интегральной (INL) нелинейности АЦП является гистограммный метод [1-3]. Периодический сигнал с известной плотностью вероятности преобразуется тестируемым АЦП. Собирается большое количество отсчетов и подсчитывается количество выпадений каждого кода АЦП. В случае треугольного входного сигнала, число отсчетов для каждого кодового интервала будет одинаково для $DNL = INL = 0$, а вариации будут соответствовать ошибкам DNL и INL.

Хотя концептуально этот метод работает хорошо, он полагается на генерацию линейного сигнала. Любая нелинейность или искажения во входном сигнале приведут к тому, что изменится ожидаемое количество отсчетов для каждого кодового интервала.

В работе [4] авторы предлагают метод скользящей гистограммы позволяющий обойти этот недостаток и преодолеть метрологические ограничения средств испытаний и измерений за счет смещения входного сигнала по всему динамическому диапазону АЦП, с номинальным шагом, соизмеримым с интервалом квантования АЦП. В результате для проведения испытаний требуется 2^K (K - разрядность АЦП) смещений входного сигнала.

В данной работе приводится описание модифицированного гистограммного метода испытания, которому для преодоления метрологических ограничений средств испытаний и измерений достаточно одного смещения входного сигнала.

Суть метода смещенной гистограммы заключается в следующем:

1. Подается первый измерительный сигнал треугольной формы (ИС1) на вход испытываемого АЦП и по количеству выпадений каждого кода строится первая гистограмма (Г1).

2. Подается второй измерительный сигнал треугольной формы на вход испытываемого АЦП, полученный смещением ИС1 на значение, соизмеримое с номинальным интервалом квантования АЦП, и по количеству выпадений каждого кода строится вторая гистограмма (Г2).

3. С помощью двух связанных гистограмм Г1 и Г2 определяется дифференциальная (DNL) и интегральная (INL) нелинейность испытываемого АЦП, как описано ниже. Для простоты метод объясняется на примере 2-х разрядного АЦП (рисунок 1).

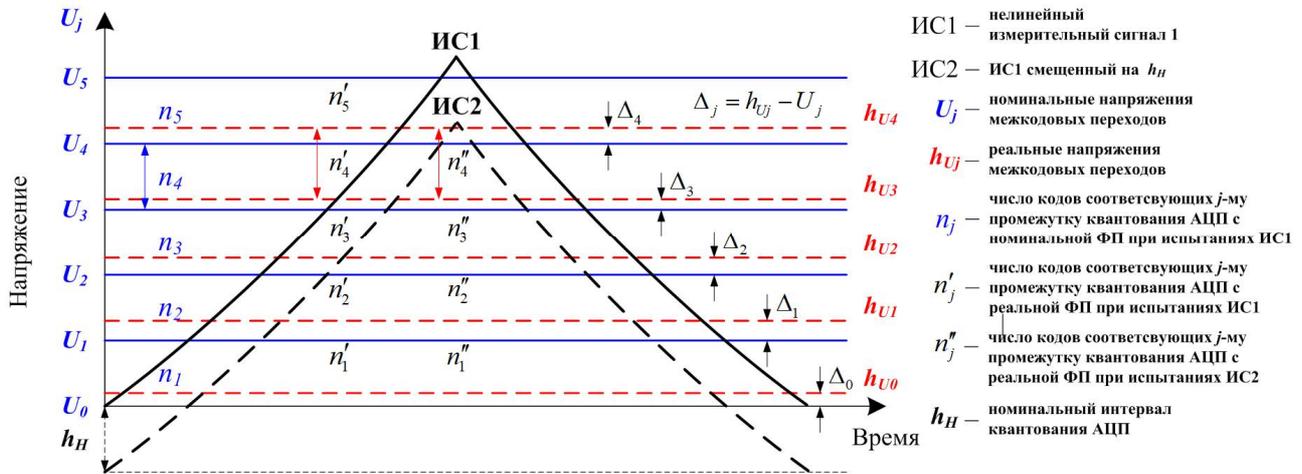


Рис. 1. Метод смещенной гистограммы на примере 2 разрядного АЦП

На рисунке 1 Δ_0 связано с отклонением 0-го напряжения междокового перехода, которого в реальном АЦП не существует. В данном случае Δ_0 введено для получения простого математического описания алгоритма. Значения n'_j и n''_j можно получить после построения соответствующих гистограмм (Г1 для IS1, Г2 для IS2). В результате, уравнения связывающие $\Delta_j = h_{Uj} - U_j$ со значениями n_j, n'_j и n''_j можно представить в виде:

$$\begin{aligned}
 n'_1 &= n_1 + \Delta_1 - \Delta_0 \\
 n'_2 &= n_2 + \Delta_2 - \Delta_1 \\
 n'_3 &= n_3 + \Delta_3 - \Delta_2 \\
 n'_4 &= n_4 + \Delta_4 - \Delta_3 \\
 n''_1 &= n_2 + \Delta_1 - \Delta_0 \\
 n''_2 &= n_3 + \Delta_2 - \Delta_1 \\
 n''_3 &= n_4 + \Delta_3 - \Delta_2 \\
 n''_4 &= n_5 + \Delta_4 - \Delta_3
 \end{aligned} \tag{1}$$

Приведенные выше уравнения справедливы при условии, что на малых участках входного сигнала, в диапазоне нескольких интервалов квантований, сигнал является линейным.

Для решения системы уравнений (1) состоящей из 10 неизвестных $(n_1, n_2, n_3, n_4, n_5, \Delta_0, \Delta_1, \Delta_2, \Delta_3, \Delta_4)$ делается предположение, что DNL для первого интервала квантования равна 0, следовательно

$$\Delta_0 = \Delta_1 = 0. \tag{2}$$

Как объяснялось ранее, поскольку Δ_0 вводится для получения простого математического описания алгоритма, предположение о том, что оно равно 0, является верным. Утвер-

ждение $\Delta_1 = 0$ означает, что первый кодовый переход является идеальным ($DNL_1 = 0$). В случае $DNL_1 > 0$ возникает аддитивная погрешность, которая может быть скорректирована отдельно, и поэтому предположение $\Delta_1 = 0$ также справедливо.

Уравнение 1 может быть использовано, для получения Δ_j , в следующем виде:

$$\Delta_{j+1} = n'_{j+1} - n''_j + 2\Delta_j - \Delta_{j-1}, \quad (3)$$

где $\Delta_0 = \Delta_1 = 0$.

Зная Δ_j можно определить значения n_j , как

$$n_j = n'_j - \Delta_j + \Delta_{j-1}, \quad (4)$$

Наконец Δ_j могут быть пересчитаны относительно значений LSB (n_j)

$$\Delta_{LSB}(j) = \frac{\Delta(j)}{n(j)}. \quad (5)$$

Тогда, DNL для любого интервала квантования рассчитывается с помощью следующего уравнения

$$DNL_j = \Delta_{LSB}(j) - \Delta_{LSB}(j-1). \quad (6)$$

Для нахождения INL потребуется:

1. Найти номинальное значение интервала квантования h_H , как

$$h_H = (U_B - U_H) / 2^{K-1}, \quad (7)$$

где U_B - верхнее значение напряжения АЦП;

U_H - нижнее значение напряжения АЦП;

K - разрядность АЦП.

2. Вычислить абсолютные значения всех интервалов квантований h_j

$$h_j = h_H + DNL_j \times h_H, \quad (8)$$

3. Найти среднее значение интервала квантования h_{CP}

$$h_{CP} = \frac{1}{NB - NN} \sum_{j=0}^{NB-NN} h_j, \quad (9)$$

где NN - нижний код-граница, соответствующий нижнему значению напряжения АЦП;

NB - верхний код-граница, соответствующий верхнему значению напряжения АЦП;

4. Найти INL

$$\Delta_{INL,j} = \frac{\sum_{j=0}^{j-1} h_j - jh_{CP}}{h_{CP}}, \quad (10)$$

где $0 \leq j \leq NB - NN$.

Полученные значение INL затем корректируется с учетом аддитивной и мультипликативной погрешности АЦП.

Библиографический список

1. Doernberg, J., Lee, H.-S., and Hodges, D.A.: Full-Speed Testing of A/D Converters, IEEE J. Solid-State Circuits, December 1984, SC-19, pp.820-827.
2. Ginetti B., Jespers, P. Reliability of Code Density Test for High Resolution ADCs, Electronics Letters, Vol.27, pp.2231- 2233, Nov.21, 1991.
3. J.Blair, Histogram measurement of ADC nonlinearities using sine waves, IEEE Trans. Instrum. Meas., Vol.43, pp.373-383, June 1994.
4. Виртуальные метрологические средства испытаний модулей АЦП для систем бортовых измерений / Абрамов А. М., Бондарцев В. В., Гуржин С. Г. [и др.]. - Рязань : Коняхин А. В., 2017(Рязань). - 256 с.

УДК 621.3.087.92; ГРНТИ 90.27.34

МЕТОД МАСШТАБНО СМЕЩЕННОЙ ГИСТОГРАММЫ ПРИ МЕТРОЛОГИЧЕСКИХ ИСПЫТАНИЯХ ПАРАЛЛЕЛЬНЫХ АЦП

А.М. Абрамов

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

Аннотация. В работе предлагается новый метод метрологического испытания АЦП, устраняющий недостатки гистограммного метода. Для этого на вход испытываемого АЦП подаются два нелинейных сигнала треугольной формы и строятся две гистограммы, по которым определяют дифференциальную (DNL) и интегральную (INL) нелинейность АЦП.

Ключевые слова: масштабные коэффициенты, АЦП, интервал квантования, дифференциальная нелинейность, интегральная нелинейность, смещение.

SCALED SHIFTED HISTOGRAM METHOD IN METROLOGICAL TESTS OF FLASH ADCS

A.M. Abramov

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

The summary. This paper proposes a new method of ADC metrological testing based on the known histogram method used to measure differential (DNL) and integral (INL) nonlinearity of ADCs. The new method uses two coupled nonlinear triangular-shaped signals as an input signal.

Keywords: scaling factors, ADC, quantization interval, differential nonlinearity, integral nonlinearity, offset.

Общепринятый метод определения дифференциальной (DNL) и интегральной (INL) нелинейности АЦП использует в качестве входного сигнала линейно изменяющееся во времени напряжение [1-3]. Любая нелинейность во входном сигнале будет приводить к искажению реальной функции преобразования АЦП, что является недостатком данного метода.

В работе [4] авторы предлагают метод скользящей гистограммы, позволяющий

снизить требования к линейности входного сигнала путем циклического сдвига опорного уровня треугольного входного сигнала по всему динамическому диапазону, с номинальным шагом, соизмеримым с интервалом квантования испытываемого АЦП. В результате для проведения испытаний требуется 2^N (N - разрядность АЦП) смещений треугольного входного сигнала.

В данной работе приводится описание нового метода метрологических испытаний АЦП, которому для преодоления метрологических ограничений средств испытаний и измерений достаточно одного смещения входного сигнала, причем значение этого смещения может быть не известно.

Метод масштабно смещенной гистограммы направлен на испытания параллельных АЦП, хотя предложенный подход может быть применим к различным типам АЦП. На вход АЦП подается первый нелинейный сигнал треугольной формы (НС1) и по выходным данным АЦП строится первая гистограмма (Г1). Связанный с НС1 второй нелинейный сигнал треугольной формы (НС2), полученный смещением НС1 на фиксированное значение, снова подается на вход АЦП и строится вторая гистограмма (Г2). Связанные гистограммы Г1 и Г2 используются для определения дифференциальной (DNL) и интегральной (INL) нелинейности параллельного АЦП.

Предполагается, что точно не известно, что из себя представляет форма входного сигнала, как и значение смещения НС2, а форма НС2 может незначительно отличаться от исходной формы НС1.

На рисунке 1 представлен пример работы предлагаемого метода на 2-х разрядном АЦП, где НС2 смещен относительно НС1 на фиксированное, но неизвестное значение xh_H (h_H - номинальное значение интервала квантования АЦП).

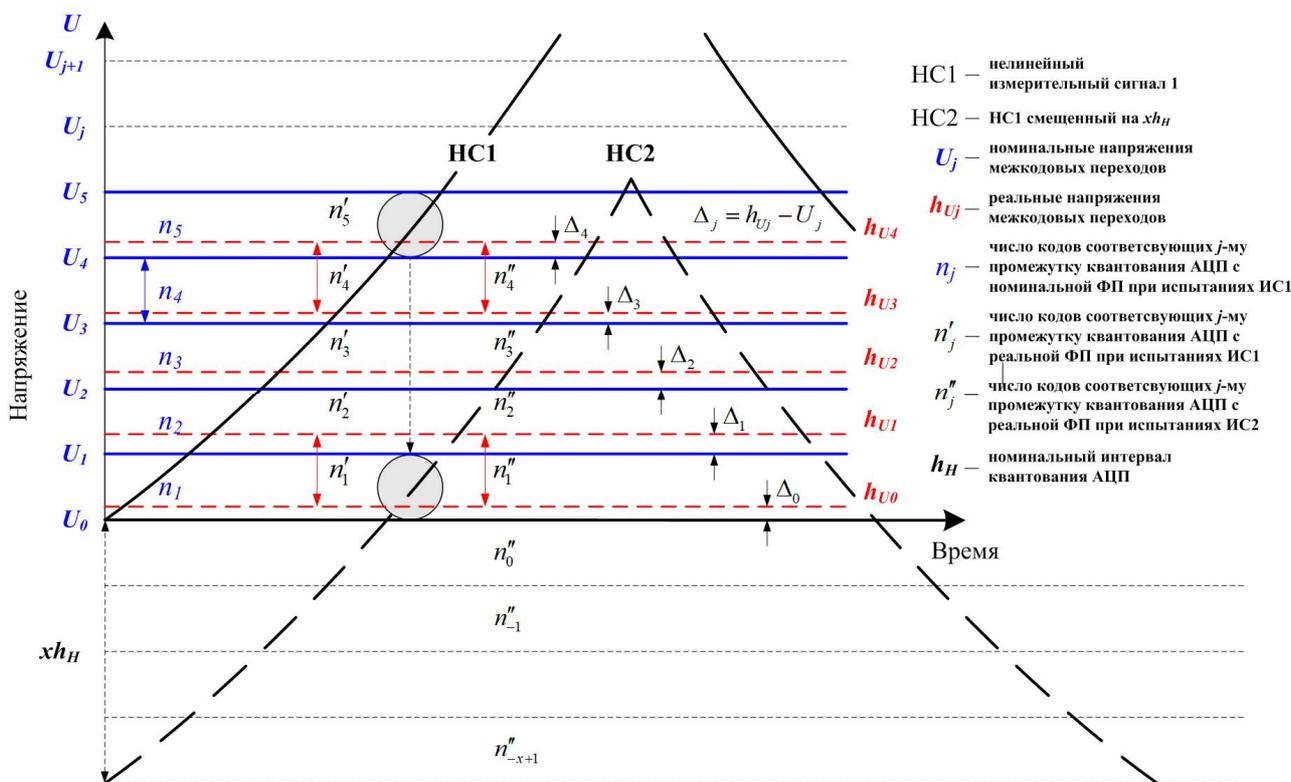


Рис. 1. Метод масштабно смещенной гистограммы на примере 2 разрядного АЦП

Цель метода состоит в том, чтобы определить несоответствие номинальной (идеальной для конкретной реализации АЦП) и действительной функции преобразования. В контексте обозначений, используемых на рисунке 1, эта цель состоит в определении $\Delta_0, \Delta_1, \Delta_2, \Delta_3, \Delta_4$.

Δ_0 связано с отклонением 0-го напряжения межкодového перехода, которого в реальном АЦП не существует. В данном случае Δ_0 введено для получения простого математического описания алгоритма. Значения n'_j и n''_j можно получить после построения соответствующих гистограмм (Г1 для ИС1, Г2 для ИС2). В результате, уравнения связывающие $\Delta_j = h_{Uj} - U_j$ со значениями n_j и n'_j можно представить в виде:

$$\begin{aligned} n'_1 &= n_1 + \Delta_1 - \Delta_0 \\ n'_2 &= n_2 + \Delta_2 - \Delta_1 \\ n'_3 &= n_3 + \Delta_3 - \Delta_2 \\ n'_4 &= n_4 + \Delta_4 - \Delta_3 \end{aligned} \quad (1)$$

Приведенные выше уравнения справедливы при условии, что на малых участках входного сигнала, в диапазоне нескольких интервалов квантований, сигнал является линейным.

Поскольку ИС2 получается смещением ИС1 на Xh_H , то участок второго сигнала, который попадает на 0-й промежуток квантования АЦП, будет соответствовать участку первого сигнала, который попадает на 0+х промежуток квантования. Данный случай показан пунктирной линией на рисунке 1. Тогда, уравнения связывающие Δ_j со значениями n_j и n''_j можно представить в виде:

$$\begin{aligned} n''_1 &= n_{1+x} + \kappa_1 \Delta_1 - \kappa_0 \Delta_0 \\ n''_2 &= n_{2+x} + \kappa_2 \Delta_2 - \kappa_1 \Delta_1 \\ n''_3 &= n_{3+x} + \kappa_3 \Delta_3 - \kappa_2 \Delta_2 \\ n''_4 &= n_{4+x} + \kappa_4 \Delta_4 - \kappa_3 \Delta_3 \end{aligned} \quad (2)$$

где $\kappa_j = n''_j / n'_j$ - масштабные коэффициенты, учитывающие изменение наклона ИС2 по сравнению с ИС1.

Для решения системы уравнений (1), (2) делается предположение, что DNL для первого интервала квантования равна 0, следовательно

$$\Delta_0 = \Delta_1 = 0. \quad (3)$$

Как объяснялось ранее, поскольку Δ_0 вводится для получения простого математического описания алгоритма, предположение о том, что оно равно 0, является верным. Утверждение $\Delta_1 = 0$ означает, что первый кодový переход является идеальным ($DNL_1 = 0$). В случае $DNL_1 > 0$ возникает аддитивная погрешность, которая может быть скорректирована отдельно, и поэтому предположение $\Delta_1 = 0$ также справедливо.

Уравнение 1 и 2 может быть использовано, для получения Δ_j , в следующем виде:

$$\Delta_{j+1} = n'_{j+1} - n''_{j+1-x} + \Delta_j + \kappa_{j+1-x}\Delta_{j+1-x} - \kappa_{j-x}\Delta_{j-x} \quad (4)$$

где $\Delta_1 = \Delta_0 = \Delta_{-1} = \dots = \Delta_{-x} = 0$.

Зная Δ_j можно определить значения n_j , как

$$n_j = n'_j - \Delta_j + \Delta_{j-1}, \quad (5)$$

Наконец Δ_j могут быть пересчитаны относительно значений LSB (n_j)

$$\Delta_{LSB}(j) = \frac{\Delta(j)}{n(j)}. \quad (6)$$

Тогда, DNL для любого интервала квантования рассчитывается с помощью следующего уравнения

$$DNL_j = \Delta_{LSB}(j) - \Delta_{LSB}(j-1). \quad (7)$$

INL можно определить, как

$$INL_j = \sum_{j=0}^j DNL_j \quad (8)$$

Полученные значение INL затем корректируется с учетом аддитивной и мультипликативной погрешности АЦП.

Библиографический список

1. Doernberg, J., Lee, H.-S., and Hodges, D.A.: Full-Speed Testing of A/D Converters, IEEE J. Solid-State Circuits, December 1984, SC-19, pp.820-827.
2. Ginetti B., Jespers, P. Reliability of Code Density Test for High Resolution ADCs, Electronics Letters, Vol.27, pp.2231- 2233, Nov.21, 1991.
3. J.Blair, Histogram measurement of ADC nonlinearities using sine waves, IEEE Trans. Instrum. Meas., Vol.43, pp.373-383, June 1994.
4. Виртуальные метрологические средства испытаний модулей АЦП для систем бортовых измерений / Абрамов А. М., Бондарцев В. В., Гуржин С. Г. [и др.]. - Рязань : Коняхин А. В., 2017(Рязань). - 256 с.

УДК 621.3.087.44; ГРНТИ 76.13.25

ОПЕРАТИВНОЕ ОЦЕНИВАНИЕ УРОВНЯ СТРЕССА ПАЦИЕНТА В МАГНИТОТЕРАПИИ НА ОСНОВЕ ВАРИАЦИОННОЙ ПУЛЬСОМЕТРИИ

О.В. Аникина, С.Г. Гуржин, А.В. Шуляков

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

Аннотация. Рассматриваются способ и аппаратно-программные средства съема, преобразования, регистрации, обработки, оперативного и объективного оценивания уровня стресса пациента во время сеанса магнитотерапии с использованием метода вариационной пульсометрии. Предложена реализация способа на основе компьютера с помощью фотометрического датчика пульса APDS-9008, многофункционального устройства ввода-вывода NI USB 6211 и разработанных виртуальных приборов в среде LabVIEW для определения эффективности лечебной процедуры.

Ключевые слова: процесс сердцебиения пациента, магнитотерапия, фотометрический датчик, вариационная пульсометрия, пульсовая волна, виртуальные приборы, стресс-индекс.

OPERATIONAL ASSESSMENT OF THE LEVEL OF STRESS OF A PATIENT IN MAGNETOTHERAPY BASED ON VARIATIONAL PULSE METHOD

O.V. Anikina, S.G. Gurzhin, A.V. Shuljakov

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

Annotation. The method and hardware-software means of removal, transformation, registration, processing, operational and objective assessment of the patient's stress level during a magnetic therapy session using the method of variational pulsometry are considered. A computer-based implementation of the method is proposed using the APDS-9008 photometric pulse sensor, the NI USB 6211 multifunctional input-output device, and the developed virtual instruments in the LabVIEW environment to determine the effectiveness of the treatment procedure.

Keywords: patient's heartbeat process, magnetotherapy, photometric sensor, variational pulsometry, pulse wave, virtual instruments, stress index.

В работе [1] рассмотрена структура измерительно-диагностической системы для оперативной оценки уровня эмоционального напряжения (стресса) пациента во время сеанса магнитотерапии, предложенного для использования в качестве показателя эффективности лечебного воздействия. Отмечены известные и апробированные в клинической практике методы, которые позволяют объективно оценивать уровень стресса человека на основе результатов динамических измерений вегетативных параметров пациента, таких как *частота сердечных сокращений (ЧСС), частота дыхания (ЧД) и артериальное давление (АД)*.

На сегодняшний день наиболее информативным, неинвазивным и оперативным методом оценки функционального состояния организма человека признан *метод анализа вариабельности сердечного ритма (ВСР)* [2]. К достоинствам метода можно отнести его *неспецифичность* по отношению к нозологическим формам патологии и *высокую чувствительность* к самым разнообразным внутренним и внешним воздействиям [3]. Учитывая и обобщая опыт российских и зарубежных ученых в области измерения и физиологической интерпретации ВСР, разработаны методические материалы с целью стандартизации методики исследований и подходов к анализу данных о ВСР, которые рекомендованы в качестве руководства практикующим врачам Комитетом по новой медицинской технике МЗ РФ [4]. Важная особенность данных рекомендаций состоит в том, что они распространяются только на *кратковременные* записи сердечного ритма, от нескольких минут до нескольких часов, что соответствует средней продолжительности проведения сеанса магнитотерапии (≈ 20 минут).

Поскольку метод ВСР позволяет объективно и быстро оценивать текущее состояние человека, степень напряжения его регуляторных систем организма, активность и соотношение симпатического и парасимпатического отделов вегетативной нервной системы от различного рода воздействий, то предлагается реализовать его в комплексе общей хрономагнитотерапии – новой модели «РелаксМаг» [5].

Однако, традиционное получение информации о ВСП пациента осуществляется методом *вариационной интервалографии*, основанным на непрерывной регистрации *электрокардиографического сигнала* (ЭКС) или поверхностных потенциалов с помощью электродов, наложенных на определенные участки тела пациента [6]. Применение подобной технологии в процессе сеанса магнитотерапии невозможно из-за действия на проводники и электроды изменяющегося во времени и в пространстве магнитного поля, которое наводит в них паразитные токи, искажающие ЭКС.

Поэтому для получения информации о ВСП пациента в магнитотерапии используют метод *оптической плетизмографии (фотоплетизмографии)* или *вариационной пульсометрии*, разработанный еще в 60-х годах для задач космической медицины [7, 8] и являющийся на сегодняшний день наиболее эргономичным и помехоустойчивым методом регистрации *механических колебаний (пульсовой волны)* в системе кровообращения человека.

Метод основывается на предположении, что измеренные значения кардиоинтервалов пульсовой волны являются случайными величинами, которые образуют динамический ряд (*ритмограмму*) – случайный процесс, подлежащий исследованию. Поэтому, прежде всего, определяется дифференциальный закон распределения кардиоинтервалов (плотность распределения) и строится вариационная кривая распределения или для дискретных величин *гистограмма* распределения. Вычисляются основные вероятностные характеристики гистограммы: M_o – мода, наиболее часто встречающееся значение кардиоинтервала, AM_o – амплитуда моды это число зарегистрированных кардиоинтервалов, соответствующих значению моды в % к объему выборки, VR – вариационный размах, разность между максимальным и минимальным значениями кардиоинтервалов.

По полученным вероятностным характеристикам вариационной пульсометрии находят один из ряда важных диагностических показателей ВСП – *индекс напряжения регуляторных систем или стресс индекс* (ИН, SI – Stress Index), который характеризует степень напряжения регуляторных систем организма человека:

$$ИН (SI) = \frac{AM_o}{2M_o \cdot VR}.$$

Для реализации метода и его будущего внедрения в комплексы хрономагнитотерапии была проведена апробация метода с помощью созданной экспериментальной установки в лабораторном практикуме студентов кафедры Информационно-измерительной и биомедицинской техники РГРТУ [9].

В качестве первичного преобразователя использовался фотометрический датчик пульса APDS-9008 [10], принцип действия которого основан на методе фотоплетизмографии, т.е. регистрации изменений оптической плотности объема крови в сосудах путем просвечивания светодиоидом участка ткани излучением зеленого цвета и приеме отраженного сигнала фотодиодом. Особенность датчика состоит в том, что он реагирует только на относительные изменения интенсивности отраженного света во время сердечных пульсаций, т.е. формируемое на выходе датчика аналоговое напряжение $U_{вых}$ будет отклоняться от половины питающего напряжения

$\frac{U_{п}}{2} = \frac{5V}{2} = 2,5V$ в обе стороны, пропорционально изменению светового

потока. При постоянстве светового потока и вне зависимости от его интенсивности выходное напряжение $U_{вых}$ будет оставаться всегда на уровне половины питающего напряжения. Важными достоинствами датчика являются: высокая чувствительность и незначительное ее изменение в различных условиях освещенности, линейность выходного сигнала в широком диапазоне уровня освещенности и соответствие требованиям Европейского Союза RoHS

(Restriction of Hazardous Substances), ограничивающих использование шести вредных для здоровья человека и природы веществ.

Внешний вид датчика пульса, его принципиальная схема и способ крепления представлены на рисунке 1.

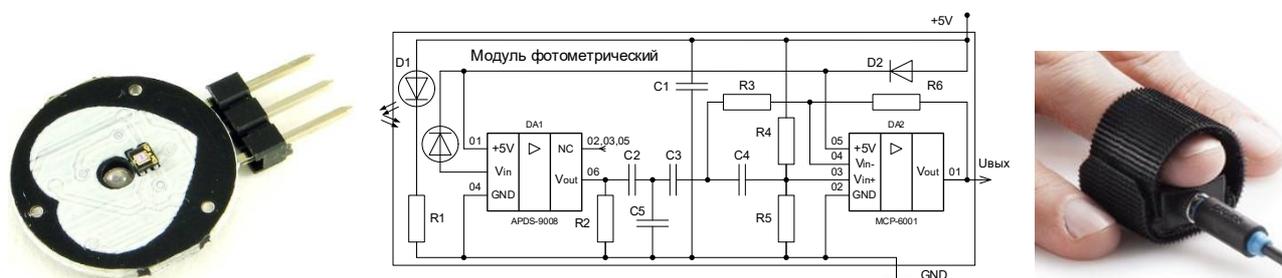


Рис. 1. Фотометрический датчик пульса APDS-9008, схема и способ его крепления

Так как в лабораторной установке [9] в качестве устройства сопряжения с компьютером используются внешний соединительный модуль ввода-вывода измерительной информации *NI BNC 2120* и многофункциональная плата сбора данных *NI PCI express 6321*, встраиваемая в компьютер, которые достаточно громоздки и предназначены для работы только со стационарным компьютером, имеющим свободный слот, то это делает невозможным применение установки в составе комплекса магнитотерапии.

Для повышения мобильности системы вариационной пульсометрии и независимости ее от типа компьютера предлагается осуществлять аналого-цифровое преобразование (АЦП) сигнала пульсовой волны датчика с помощью многофункционального устройства ввода-вывода *NI USB 6211* с разрешением 16 бит и частотой опроса 250 кГц (рис. 2). Оно обеспечит высокую точность и скорость кодирования сигнала. К достоинствам устройства ввода-вывода можно отнести его портативность, универсальность способа подключения практически к любому компьютеру кабелем USB, а также возможность ввода информации одновременно от 16-ти различных аналоговых датчиков и 4-х цифровых [11], что потребуется на следующих этапах разработки системы.



Рис. 2. Многофункциональное устройство ввода-вывода NI USB 6211

Таким образом, предлагается система на основе метода вариационной пульсометрии для оперативного оценивания уровня стресса пациента во время сеанса магнитотерапии, аппаратная часть которой состоит из трех стандартных, сертифицированных устройств: датчика пульса APDS-9008, модуля ввода-вывода информации NI USB 6211 и персонального компьютера (ПК). Оригинальными являются программные средства, разработанные в среде LabVIEW и позволяющие гибко управлять процессом сбора диагностической информации, ее кодирования в модуле NI USB 6211, регистрации сигнала пульсовой волны в ПК и последующими этапами обработки, анализа, измерений, преобразований, вычислений показателей и визуализации результатов.

На рисунке 3 представлены рабочие интерфейсы виртуальных приборов, обеспечи-

вающих регистрацию пульсовой волны (а – фотоплетизмограмма) с частотой дискретизации 1 кГц в течение 5 минут, измерение длительностей кардиоинтервалов и формирование из них динамического ряда кардиоинтервалов (б - ритмограмма), построение закона распределения кардиоинтервалов и вычисление показателей (в – гистограмма и числовые вероятностные характеристики).

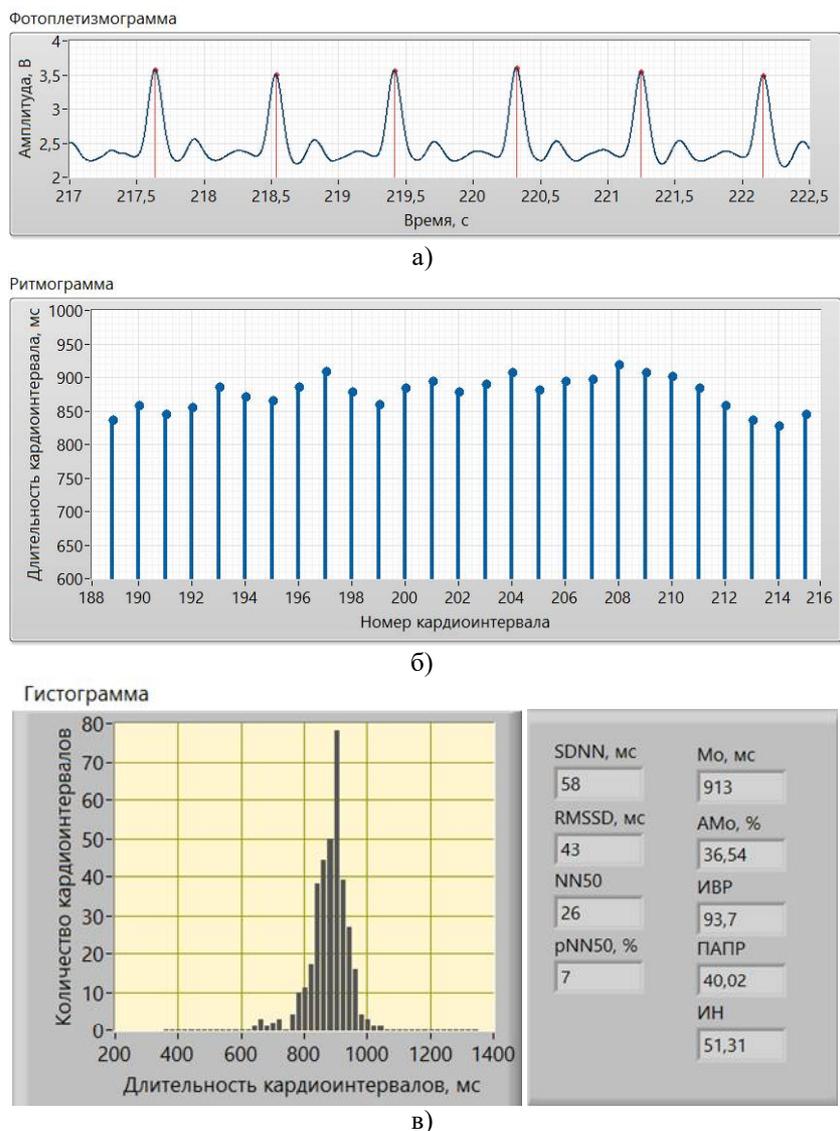


Рис. 3. Рабочие интерфейсы врача магнитотерапии реального времени:
а) – Фотоплетизмограмма, б) – Ритмограмма, в) – Гистограмма и диагностические показатели

Ритмограмма является источником ценной диагностической информации, позволяющей объективно и количественно оценить ряд статистических характеристик, таких как:

1. SDNN, мс – стандартное отклонение нормальных кардиоинтервалов NN, т.е. кардиоинтервалов RR, из записи которых исключены экстрасистолы и какие-либо артефакты (аналог СКО);
2. RMSSD, мс – квадратный корень из суммы квадратов разности величин последовательных пар кардиоинтервалов NN;
3. NN50 – количество пар последовательных кардиоинтервалов NN, различающихся более, чем на 50 миллисекунд, обнаруженных за весь период записи;
4. pNN50, % – процент NN50 от общего количества последовательных пар кардиоинтервалов, различающихся более, чем на 50 миллисекунд, обнаруженных за весь период

записи;

5. M_0 , мс – мода – это наиболее часто встречающееся в данном динамическом ряде значение кардиоинтервала;

6. AM_0 , % – амплитуда моды – это число кардиоинтервалов, соответствующих значению моды, в % к объему выборки;

7. ИВР – индекс вегетативного равновесия;

8. ПАПР – показатель адекватности процессов регуляции;

9. ИН – индекс напряжения регуляторных систем или стресс-индекс.

На рисунке 4 представлен интерфейс виртуального прибора, наглядно показывающий уровень стресса пациента до сеанса магнитотерапии и после его проведения по шкале норма-эустресс-дистресс-болезнь, в диапазоне от 30 до 1000.

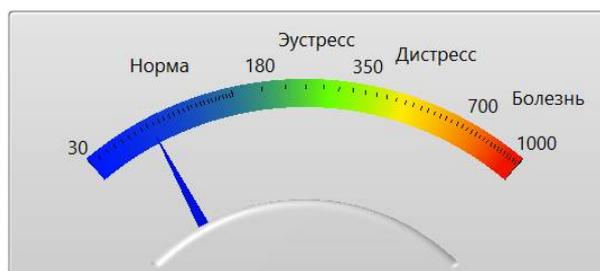


Рис. 4. Показатель уровня стресса по Баевскому

Таким образом, разработана автоматизированная система оценивания уровня стресса пациента в процессе общего воздействия на него лечебным магнитным полем, который может служить оперативным показателем эффективности проведенного сеанса магнитотерапии. Планируется внедрение системы в комплекс хрономагнитотерапии «РелаксМаг» и его апробация в клинических испытаниях.

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. Аникина О.В., Гуржин С.Г. Моделирование системы для оперативной оценки уровня эмоционального напряжения пациента во время сеанса магнитотерапии // Сб. тр. XXXV Всерос. науч.-техн. конф. студ., мол. ученых и спец. «Биотехнические, медицинские и экологические системы, измерительные устройства и робототехнические комплексы – Биомедсистемы-2022» / под общ. ред. В.И. Жулева. – Рязань: ИП Коняхин А.В. (Book Jet), 2022. – 484 с. С. 64-68.
2. Баевский Р.М., Кириллов О.И., Клецкин С.З. Математический анализ изменений сердечного ритма при стрессе. – М.: Наука, 1984. – 224 с.
3. Баевский Р.М., Иванов Г.Г. Вариабельность сердечного ритма: теоретические аспекты и возможности клинического применения // Ультразвуковая и функциональная диагностика, № 3. 2001. С. 108-127.
4. 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.
5. КРЭТ – Анонс кресла для лечения болезней сердца «РелаксМаг» – обновленной версии «Мультимага» / https://zdrav.expert/index.php/Продукт:КРЭТ_РелаксМаг?cache=no&ptype=news#2021 – 1 с.
6. Михайлов В.М. Вариабельность ритма сердца. Опыт практического применения метода. – Иваново: 2000. – 200 с.
7. 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.
8. Методы и приборы космической кардиологии на борту Международной космической станции / под ред. Р.М. Баевского, О.И. Орлова. Государственный научный центр РФ – Институт медико-биологических проблем РАН. – М.: Техносфера, 2016. – 368 с.

9. Гуржин С.Г., Калакин А.А., Каплан М.Б., Ловягин К.Р., Шуляков А.В. Исследование датчиков физических величин. Фотометрический пульсомер: методические указания к лабораторным работам. – Рязань: Рязан. гос. радиотехн. ун-т, 2017. – 16 с.

10. Техническая спецификация на фотометрический датчик APDS-9008 / <https://datasheet4u.com/datasheet-pdf/AVAGO/APDS-9008/pdf.php?id=658878> – 12 с.

11. Руководство по эксплуатации National Instruments USB-6211 / <https://manualzz.com/doc/o/ad4yb/ni-usb-621x-user-manual-usb-6211-6215> – 177 с.

УДК 621.396; ГРНТИ 47.47

УДК 621.396; ГРНТИ 47.47

ОПРЕДЕЛЕНИЕ МЕСТА ДЛЯ ПАРКОВКИ С ПОМОЩЬЮ УЛЬТРАЗВУКОВОГО ДАТЧИКА В АВТОМОБИЛЬНОЙ СИСТЕМЕ ПОМОЩИ ПРИ ПАРКОВКЕ

С.О. Самолин

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

Аннотация. В данной работе рассматривается обнаружение парковочного места с помощью с помощью ультразвукового датчика. Благодаря использованию метода многократного эха точность обнаружения границ объектов может быть увеличена. Можно более точно сканировать парковочное пространство в реальных условиях парковки. Предложенный метод имеет ряд преимуществ, а реализация очень проста.

Ключевые слова: автоматизированная парковка, ультразвуковой датчик.

IDENTIFYING A PARKING SPACE WITH AN ULTRASONIC SENSOR IN THE CAR PARK ASSIST SYSTEM

S.O. Samolin

*Ryazan State Radio Engineering University named after V.F. Utkin,
Russian Federation, Ryazan, samolin.serg@yandex.ru*

Abstract. This paper deals with the detection of a parking space using an ultrasonic sensor. By using the multiple echo method, the accuracy of object boundary detection can be increased. It is possible to scan the parking space more accurately in real parking conditions. The proposed method has several advantages and the implementation is very simple.

Keywords: automated parking, ultrasonic sensor.

Парковка считается для водителя одним из самых трудных моментов, при вождении автомобиля, потому что парковка - это маневр, требующий большого напряжения и внимания к окружающей обстановке. В данной статье рассматривается обнаружение парковочного места с помощью ультразвукового датчика. Поскольку безопасности и удобству вождения уделяется внимание, многие исследования активно развиваются в рамках системы помощи при парковке.

Известный метод заключается в определении направления измерения расстояния до объекта под прямым углом к его поверхности, при условии, что поверхность объекта шероховатая [1, 2]. Однако этот метод имеет погрешность, увеличивающуюся пропорционально расстоянию и вызванную нечеткостью направления диаграммы направленности луча ультразвукового датчика. Другим методом является обнаружение границ объекта с помощью ультразвуковых датчиков, имеющих широкую диаграмму направленности луча [3]. Кроме того, японский исследователь Сатонака определял парковочное пространство, моделируя его, с помощью закругленных граней сторон автомобилей [4]. Для этого необходимо было произвести большой объем вычислений. Его метод имеет и более существенный недостаток, для объектов с прямыми углами его метод не может быть применен (например, колонны в подземном паркинге, между которыми располагаются парковочные места).

Ультразвуковой датчик измеряет расстояние по времени пролета (*time of flight* – TOF), которое представляет собой время прохождения акустической волны от датчика до объекта. Схема включения датчика изменяет амплитуду обнаруженного эхосигнала, который затухает при распространении в воздухе пропорционально TOF, во время движения [5]. Уравнение (1) показывает, что для усиленного эхо-сигнала расстояние R получается при измерении TOF.

$$R = ct_0/2, \quad (1)$$

где $c = 340$ м/с при 20 °С.

При составлении карты окружающей среды с помощью ультразвукового датчика критической проблемой является информация об угле положения датчика относительно объекта такая же неопределенная, как и ширина луча ($\pm \theta_0$). Ширина луча определяется центральной частотой (f_R) и диаметром излучателя (a) в соответствии с уравнением (2) [6].

$$\theta_0 = \sin^{-1}(0,61\lambda/a), \quad (2)$$

где $\lambda = c/f_R$.

Следовательно, парковочное место измеряется в более узком диапазоне, чем реальное парковочное место, из-за неопределенности информации об угле ультразвукового датчика. Для решения проблемы определения реальных границы парковочного места, можно уменьшить ширину луча путем увеличения центральной частоты f_R или увеличения диаметра излучателя a . Однако у этого метода есть существенный недостаток, который заключается в том, что из-за уменьшения угла падения ультразвукового луча возникает «эффект нескольких лучей» и ширина ультразвукового луча уменьшается [6].

В системах помощи при парковке используются различные датчики, включая: Laser Range Finder (LRF) [лазерный дальномер], датчик зрения и Short-Range Radar (SRR) [радар малой дальности]. LRF способен получать точную информацию об угловом расстоянии в пределах 180° . Однако он не может обнаружить проецируемую структуру, кроме сканируемой поверхности, потому что LRF обнаруживает не объем, а точку. Для решения этой проблемы, LRF устанавливается с наклоном в сторону дорожного покрытия, что дает более точную трехмерную картину парковочного пространства [7]. Несмотря на такие преимущества, лазер не может обнаружить черный цвет поверхности транспортных средств из-за естественного свойства света [8]. Поэтому LRF не может быть применен в системе помощи при парковке из-за такой проблемы. Датчик зрения имеет положительные стороны, поскольку он обладает большей информативностью, чем датчик дальности. Однако, если полоса линии разметки парковочного места повреждена или скрыта другим транспортным средством, а также отсутствует, то датчик зрения не может обнаружить место парковки, несмотря на достаточное парковочное пространство. В случае использования SRR, то он способен получать информацию об углах, расстояниях, относительной скорости и т.д. [9]. Однако SRR имеет некоторые проблемы, связанные с необходимостью ликвидации явления рассеяния на гранях объекта.

Обычное исследование заключается в построении карты окружающей среды путем отправки ультразвуковой волны и получении только одного эхо-сигнала. Однако, имеет смысл один раз передавать ультразвук и получать несколько эхо-сигналов, более 2-х раз. В соответствии с этим метод позволяет построить более точную карту окружающей пространства.

Метод многократного эха

Как видно из рис. 1, принцип действия одиночного эхо-сигнала заключается в том, что один раз посылается набор передающих ультразвуковых импульсов и принимается толь-

ко один эхо-сигнал. Ультразвуковой датчик обнаруживает ближайший объект, расположенный в эффективной ширине луча с помощью метода одиночного эха. И он оценивает расстояние до объекта или предполагает, что направление луча является ортогональным. Напротив, функция многократного эхосигнала выполняется после передачи ультразвукового импульса один раз, после чего получается первый эхо-сигнал. Также необходимо проверить, сколько сигналов многократного эхо-сигнала в каждый момент времени T_{res} (время разрешения множественного эха). Затем расстояние рассчитывается по TOF первого эхосигнала. Объект идентифицируется с помощью метода множественного эха.

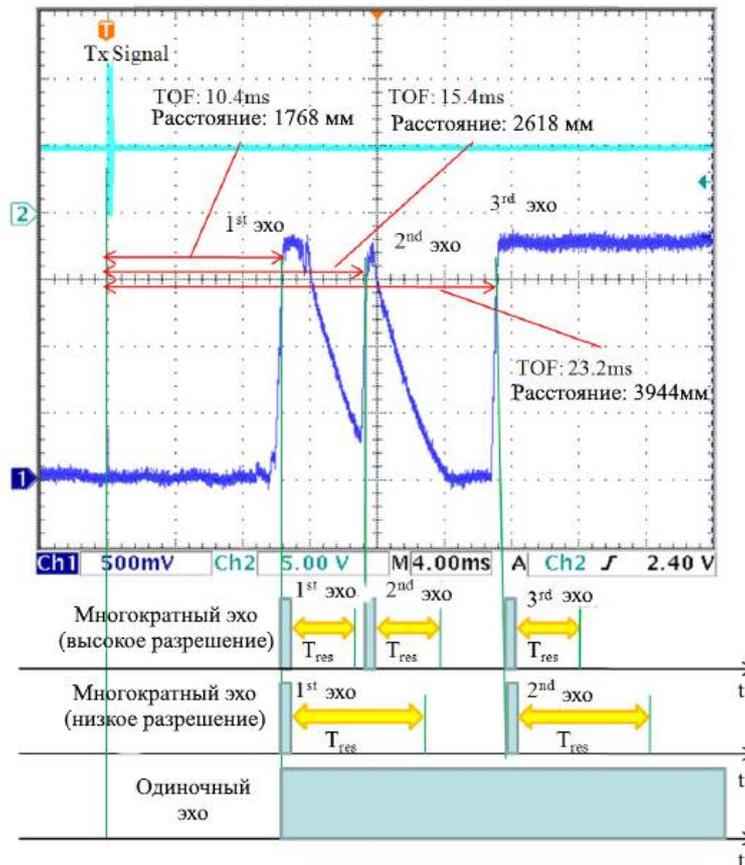


Рис. 1. Метод одиночного эха и метод многократного эха

$$R_{res} = cT_{res}/2 \quad (3)$$

По уравнению (3) можно рассчитать радиальное разрешение R_{res} многократных эхо-сигналов, минимальную разницу расстояний между объектами или поверхностью объекта, путем проверки времени интервала многократного эха T_{res} .

Классификация формы поверхности и приращение ошибки при округлой форме

На рис. 2 показана классификация формы поверхности по методу множественного эха с использованием уравнения (4).

$$\begin{aligned} R_{2nd} - R_{1st} &> \text{пороговое значение} : \text{Грань} \\ R_{2nd} - R_{1st} &\leq \text{пороговое значение} : \text{Плоскость} \end{aligned} \quad (4)$$

где R_{1st} – расчетное расстояние по TOF 1-го эхо-сигнала, R_{2nd} – расчетное расстояние по TOF 2-го эхо-сигнала.

На рисунке 2 (а), поскольку $R_{2nd} - R_{1st}$ варьирует около R_{res} и меньше, чем порог, форма поверхности определяется как плоскость. На рисунке 2 (b), с другой стороны, $R_{2nd} - R_{1st}$ примерно равен высоте объекта и больше порога. Поэтому форма поверхности определяется как кромка, если предположить, что высота объекта еще больше, чем порог. Другими словами, 1-ое эхо отражается от передней части объекта, а 2-ой эхо-сигнал отражается от задней стороны. Когда ультразвуковой датчик проходит мимо объекта, обнаруживается задняя сторона, как показано на рисунке 2 (c). В этом случае $R_{2nd} - R_{1st}$ примерно равен R_{res} и меньше порогового значения. Тогда внешний вид поверхности определяется как плоскость. В реальных случаях грани автомобилей имеют слишком округлую форму, чтобы получить точную информацию. На рис. 2 (d)-(g) показаны ошибки обнаружения краев. В случае границы под прямым углом (рис. 2 (b)) $R_{2nd} - R_{1st}$ больше порога, а на рисунке 2 (e) показано, что $R_{2nd} - R_{1st}$ меньше порога. Таким образом, несмотря на точку у грани, форма поверхности определяется как плоскость. Также, на рисунке 2 (f), форма поверхности рассчитана неверно, потому что $R_{2nd} - R_{1st}$ меньше порогового значения. На рисунке 2 (g), поскольку $R_{2nd} - R_{1st}$ больше порогового значения, форма поверхности определяется как грань. Поэтому на рисунке 2 (g) показана значительная ошибка.

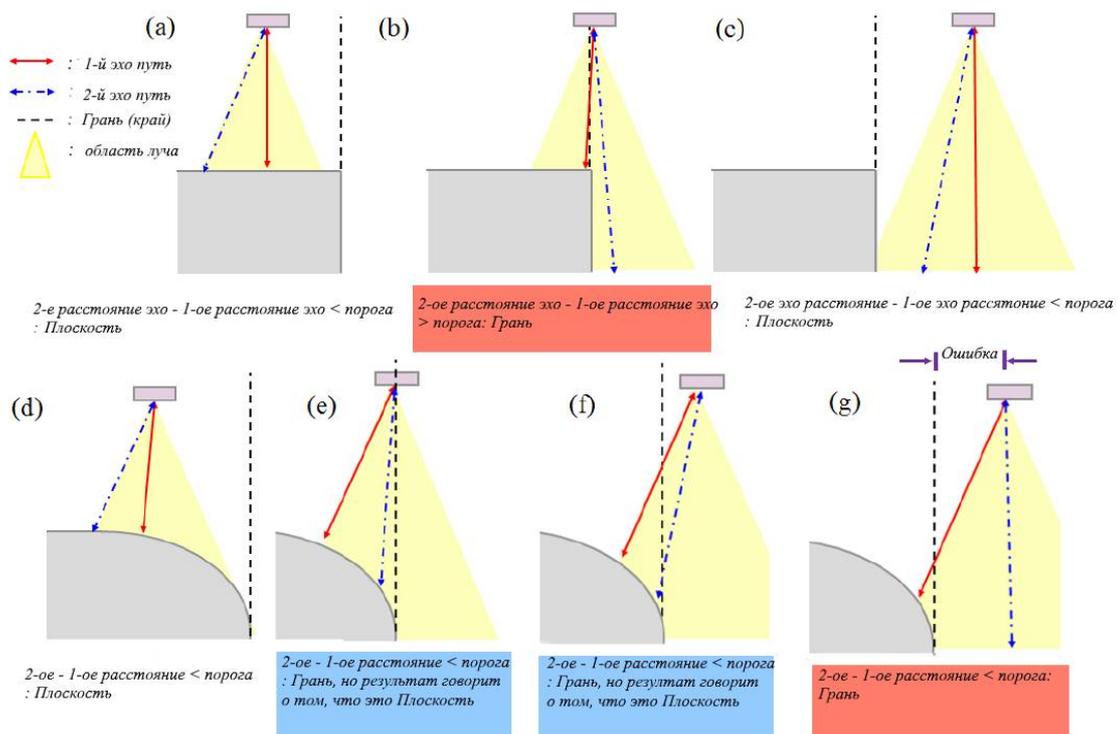


Рис. 2. Классификация формы поверхности для сторон с прямыми углами и закругленными

Следовательно, чтобы уменьшить вышеуказанные ошибки, необходимо отрегулировать радиальное разрешение R_{res} в методе многократного эха, т.е. амплитудное усиление приемной части.

Регулировка разрешения, усиления и угла

Радиальное разрешение многократных эхо-сигналов R_{res} означает разрешение расстояния обнаружения путем вычисления минимального интервала времени между 1-ым и 2-

ым эхо-сигналом T_{res} . Например, когда R_{res} составляет 30 см ультразвуковой датчик может обнаружить объект или форму поверхности объекта, расположенного на расстоянии более чем в 30 см после получения 1-го эхо-сигнала. В соответствии с регулировкой R_{res} точность обнаружения граней изменяется.

Цель – определить место парковки автомобиля. Когда делается предположение, что автомобиль имеет ширину 150 см, то получается значение $R_{2nd} - R_{1st}$ близкое к 150 см. Поскольку транспортные средства проектируются и имеют много вогнутых и выпуклых областей (особенно части колес), поверхность автомобиля генерирует неравномерно рассеянную волну отражения. Слишком маленький R_{res} приводит к плохому эффекту, т.к. датчик получает непрерывные эхо-сигналы. С другой стороны, датчик не может получить эхо в течение T_{res} после получения первого эхо-сигнала. Это говорит о том, что информацию получить невозможно. Слишком большой R_{res} приводит к ошибкам при обнаружении граней.

В случае плоской поверхности, когда R_{res} составляет 10 см, наименьшее значение, имеет наилучшие характеристики, т.к. плоская поверхность (идеальный случай) не имеет вогнутых и выпуклых участков. Ультразвуковой датчик может принимать регулярную отраженную волну.

В качестве другого метода уменьшения ошибки обнаружения грани, необходимо отрегулировать амплитудное усиление приемной части. Отражательная способность поверхности круглой формы меньше, чем у плоской поверхности. Уменьшение коэффициента усиления амплитуды приемной части влияет на то, чтобы сделать эффективную ширину луча узкой. В результате регулировки коэффициента усиления амплитуды приемной части, мы можем уменьшить ошибку при обнаружении граней объекта. Датчик в направлении, ортогональном направлению движения, получает информацию, относящуюся только к параллельной стороне.

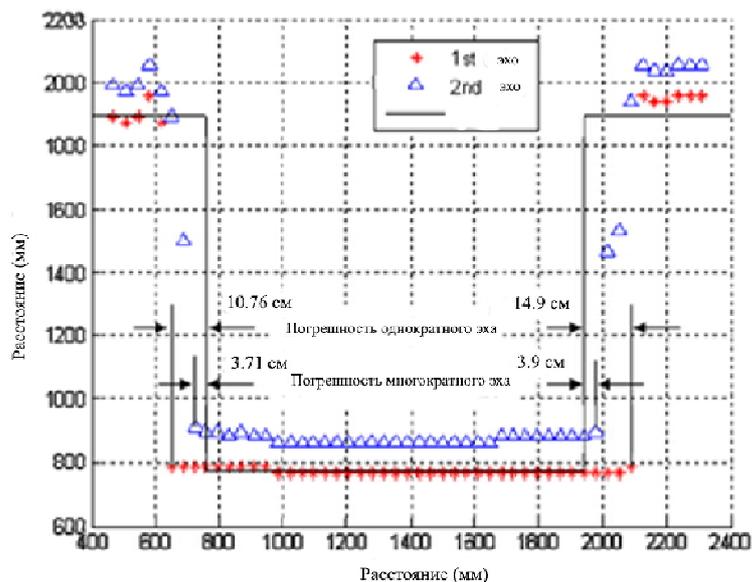


Рис. 2. Сравнение метода одиночного эха и метода многократного эха

Библиографический список

1. J. L. Crowley, "Dynamic world modeling for an intelligent mobile robot using rotating ultrasonic ranging device", in Proc. IEEE Int. Conf. Robotics Automat., 1985, p. 128-135.
2. A. Elfes, "Sonar based real-world mapping and navigation", IEEE J. Robotics Automat., vol. 3, p. 249-265, 1987.
3. Ariel Di Miro, Bernhard Wirmizer etc.al, "Ultrasonic Image Formation Using Wide Angle Sensor Arrays and

Cross-Echo Evaluation", in Proc. of the 24th DAGM Symp. on Pattern Recognition, p. 421-428, 2002.

4. Hisachi Satonaka, Masato Okuda, «Development of Parking Space Detection Using Ultrasonic Sensor», 2006 ITS World Congress, 2006.

5. Polaroid Corp., "Ultrasonic Raging System Handbook, Cambridge", MA, 1984.

6. S. K. Nayar, K. Ikeuchi and T. Kanade, "Surface Reflection: Physical and Geometrical Perspectives", Int. Proc. of Image Understanding Workshop 1990, p. 185-212, 1990.

7. Ho Gi Jung, Dong Suk Kim, Pal Joo Yoon, and Jai Hie Kim, «3D Vision System for the Recognition of Free Parking Site Location», The 13th International Pacific Conference on Automotive Engineering, 2005.

8. Wan-Joo Park, Byung-Sung Kim, Dong-Eun Seo, Dong-Suk Kim and Kwae-Hi Lee, «Parking Space Detection Using Ultrasonic Sensor in Parking Assistance System», IEEE Intelligent Vehicles Symposium Eindhoven University of Technology Eindhoven, The Netherlands, June 4-6, 2008.

9. Stefan Görner, Herrmann Rohling, "Parking lot Detection with 24GHz Radar Sensor", 3rd international Workshop on Intelligent Transportation WIT 2006.

УДК 616-71: 612.85; ГРНТИ 76.13.15

ПОЗДНИЕ ЛАТЕНТНЫЕ СЛУХОВЫЕ ВЫЗВАННЫЕ ПОТЕНЦИАЛЫ

И.Д. Дмитриевский, О.В. Мельник

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

Аннотация. В работе рассматриваются слуховые потенциалы, способы их регистрации, обработки и визуализации.

Ключевые слова: слуховые вызванные потенциалы (СВП), вызванные потенциалы, поздняя задержка.

LATE LATENCY AUDITORY EVOKED POTENTIALS

I.D. Dmitrevskii, O.V. Melnik

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

The summary: The paper considers auditory potentials, methods of their registration, processing and visualization.

Keywords: auditory evoked potentials (AEPs), evoked potentials, late latency.

Слуховой вызванный потенциал (СВП) создается путем подачи звуковых стимулов в каждое ухо, что приводит к последовательности сигналов, которые имеют тесную связь со структурами слуховых путей и позволяют относительно специфично локализовать патологию в слуховом пути. Исследования СВП важны в реабилитационной медицине, поскольку врачи часто лечат пациентов с серьезными функциональными нарушениями, например, нарушение координации, атаксия и проблемы с равновесием.

Наиболее полезная классификация СВП основана на задержках (рис. 1). Ранние – короткие и очень короткие (КСВП) – регистрируются в первые 10 мс после подачи слухового стимула и включают в себя наиболее клинически полезные СВП ствола головного мозга. Кроме того, ранние СВП включают очень короткие компоненты электрокохлеограммы (ЭКоХГ) и столь же короткую реакцию слежения за частотой. Среднелатентные СВП обычно не используются в клинической практике, хотя они имеют некоторое значение при корковой глухоте или коме. Они варьируются от 10 до 60 мс и включают нейрогенные среднелатентные ответы (СЛО) и миогенные или сономоторные ответы. Если испытуемый не полностью расслаблен, то, как правило, СЛО маскируются миогеникой. Поздние СВП с большой и очень большой задержкой варьируются от 60 мс до нескольких секунд [1].

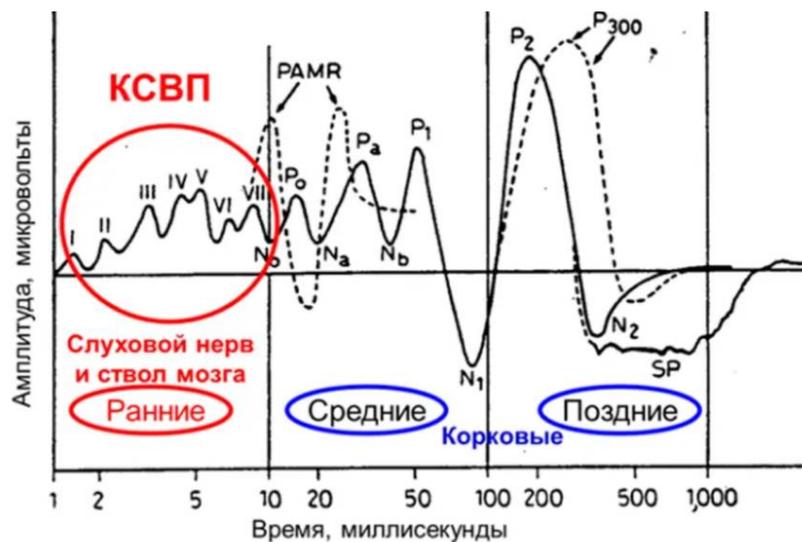


Рис. 1. Слуховые вызванные потенциалы

У детей или взрослых с относительно нормальным слухом отклонение от нормы или отсутствие поздних латентных потенциалов ассоциируется с нарушением обработки звуковых сигналов [2]. В этой статье рассматриваются поздние латентные слуховые вызванные потенциалы. Их характеристики приведены в таблице 1.

Таблица 1. Характеристики поздне- и долголатентных слуховых вызванных потенциалов [1]

Класс задержки	Основные компоненты	Диапазон задержки (мс)	Амплитудный диапазон (мкВ)	Экзогенное влияние	Эндогенное влияние
Поздняя	P1	50–80	3.0–15.0	Умеренное	От умеренного до большого
	N1	80–120			
	P2	160–200			
	N2	200–250			
Долгая	P3 или P300 (устойчивый потенциал, медленная волна)	250–400	5,0–20	Мало	Большое

Слуховые вызванные потенциалы в диапазоне от 50 или 60 мс до 250 мс называются компонентами поздней задержки. Вклад эндогенных факторов в этом диапазоне от умеренного до большого и становится исключительным, начиная с 250 мс, при работе с такими волнами, как P300, «когнитивный» потенциал.

Четыре слуховых вызванных потенциала с поздней латентностью, известные как P1, с латентностью от 50 или 60 до 80 мс, обычно используемые для определения слухового порога; N1, задержка от 80 до 120 мс; P2 от 160 до 200 мс; N2, от 200 до 250 мс. Волны N1, P2 и N2 в основном используются в неврологических и нейрофизиологических исследованиях. Амплитуды этих потенциалов относительно велики, в пределах от 3 до 15 мкВ и более.

Точное происхождение медленного потенциала (сумма четырех ранее описанных поздних компонентов) до сих пор неизвестно. Его также можно получить с кожи головы с помощью зрительных и соматосенсорных стимулов, и здесь четкое различие между тремя модальностями начинает стираться. Первоначально считалось, что медленный потенциал

возникает из первичной слуховой коры или височно-теменной ассоциации; ни одно из этих предположений не может быть доказано. В других исследованиях утверждается, что компоненты N1, P2 и N2 представляют широко распространенную активацию лобной коры, тогда как есть предположение, что N1 происходит из задней верхней височной коры.

Медленный потенциал или поздние потенциалы можно получить с помощью вертекс-сосцевидного монтажа (Cz-M1,2) ЭЭГ-электродов ипсилатерально или контралатерально (рис. 2).

При регистрации ВП на тональные звуковые раздражители ответ возникает как на включение, так и на выключение стимула. Последний имеет меньшую амплитуду и латентный период самого раннего отрицательного компонента (N1). Эти различия зависят от частоты предъявления стимулов. Используются импульсы тона со скоростью 1 или 2 в секунду (от 1 до 2 Гц). Более высокая скорость значительно ослабляет компоненты. Существенное значение имеют также интенсивность звука и крутизна его нарастания, высота тона, а также новизна раздражителя, неожиданность его предъявления. Увеличение интенсивности стимулов приводит к возрастанию амплитуды и укорочению латентных периодов компонентов N1-P2 СВП.

Четко выраженный усредненный ответ может быть получен после 30 - 64 стимулов. Обычно используются настройки фильтра от 1 до 30 Гц или от 1 до 100 Гц.

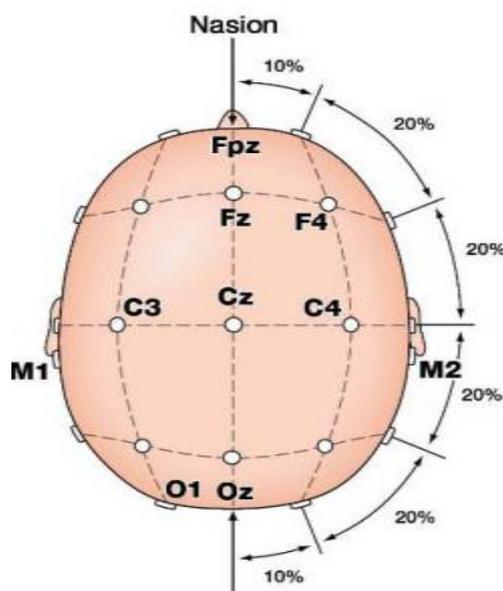


Рис. 2. Схема размещения ЭЭГ-электродов

При обсуждении поздних потенциалов необходимо учитывать как технические, так и индивидуальные факторы. Амплитудная вариабельность, возникающая при изменении скорости стимуляции или других параметров стимула, отражает психологическое состояние пациента и объясняется процессами привыкания и депривички. Изменение внимания пациента также играет важную роль: N1 - P2, но в основном амплитуда N1 значительно увеличивается, когда пациент фокусирует внимание на определенном элементе стимуляции. Возраст также влияет на компоненты позднего слухового вызванного потенциала. Задokumentировано снижение латентного периода от рождения до 10-летнего возраста и его увеличение впоследствии. Амплитуды выше в детстве, но затем стабилизируются или снижаются с возрастом. Таким образом, неаудиометрические применения поздних слуховых вызванных потенциалов ограничены. У гиперактивных детей наблюдались меньшие изменения амплитуды поздних слуховых вызванных потенциалов, зависящие от внимания.

Существует также и другие виды поздних потенциалов, известные как потенциалы связанные с событием (Event-related Potentials, ERPs), которые также могут быть зафиксированы, среди них: отрицательное рассогласование (MMN), поздний позитивный компонент, а также негативность, связанная с объектом, которые, по всей видимости, могут быть перспективны в качестве объективных методов оценки слуховой функции нервной системы [2].

Несмотря на то, что в настоящее время поздние вызванные потенциалы широко используются в качестве инструментов исследования в процедурах оценки слуха и до сих пор используются в ряде клиник для аудиологической оценки детей раннего возраста, в основном для обнаружения возможных неорганических потерь слуха, не существует четкого консенсуса относительно использования поздних СВП, их следует использовать только в качестве дополнения к другим методам.

Библиографический список

1. John A. Downey, Erwin G. Gonzalez, Stanley J. Myers, James S. Lieberman - The Physiological Basis of Rehabilitation Medicine Second Edition (1994), 295-323.
2. Методика слуховых вызванных потенциалов (СВП) / под ред. И. Милевски. Источник: https://meduniver.com/Medical/otorinolaringologia_bolezni_lor_organov/sluchovie_vizvannie_potenciali_i_tugouxost.html

УДК 004.896:621.865.8:681.518.3; ГРНТИ 59.29.71

ПОЛУЧЕНИЕ ДАННЫХ О ПОЛОЖЕНИИ ВЕРХНИХ КОНЕЧНОСТЕЙ ЧЕЛОВЕКА ДЛЯ АНАЛИЗА ЭЛЕКТРОМИОГРАФИЧЕСКОГО СИГНАЛА

П.С. Бudyлина, С.С. Лукша

*Рязанский государственный радиотехнический университет имени В.Ф. Уткина,
Российская Федерация, Рязань, budylina.p.s@rsreu.ru*

Аннотация. Рассматриваются вопросы создания аппаратной и программной части системы для получения данных о движениях рук человека и последующего использования полученной информации для анализа электромиографического сигнала. В статье представлена структура системы, описаны основные ее блоки и алгоритмы, а также приведен результат экспериментальных исследований.

Ключевые слова: электромиографический сигнал, опорные данные, обработка сигнала.

THE REGISTRATION DATA ABOUT HUMAN UPPER LIMBS LOCATION FOR ELECTROMYOGRAPHIC SIGNAL ANALYSIS

P.S. Budylina, S.S. Luksha

*Ryazan State Radio Engineering University named after V.F. Utkin,
Russia, Ryazan, budylina.p.s@rsreu.ru*

The summary. The paper considers the problem of developing system hardware and software part to receive data about movement of human shoulders and further usage of this information received for electromyographic signal analysis. The article presents system structure, described its main blocks and algorithms and gives results of experimental studies.

Keywords: electromyographic signal, reference data, signal processing.

Введение

Электромиография (ЭМГ) применяется в биофизических исследованиях уже более ста лет. В настоящее время можно выделить как минимум три направления использования электромиографического сигнала: 1) для исследования сигналов нервной системы; 2) для получения данных о движениях с целью управления робототехническими устройствами и биопротезами; 3) для получения данных о дисфункции мышечной системы и прочих заболеваниях [1]. Снятие сигнала при этом может осуществляться как при помощи инвазивных элект-

тродов (иЭМГ), так и посредством поверхностных (пЭМГ). Последний способ является наиболее распространенным в современных методах получения и анализа электромиографического сигнала (ЭМС) [2].

Однако, для использования сигнала в практических целях его необходимо предварительно обработать и выделить необходимые свойства. В этом направлении было проведено большое количество исследований и в зависимости от конкретных задач, которые предполагается решать на основе данных ЭМС, были предложены разнообразные алгоритмы его обработки. В настоящей работе предлагается сконцентрироваться на задаче управления робототехническими и другими мехатронными устройствами по данным биоэлектрической активности мышц. Такие решения можно использовать для создания бионических протезов, экзоскелетов, систем управления манипуляционными роботами и т.д. В общем виде можно говорить о решениях в области человеко-машинного интерфейса.

Для разработки алгоритмов анализа электромиографического сигнала необходимо иметь опорные данные о движениях частей тела человека. В ряде работ предлагается использовать специальное устройство, которое будет регистрировать результат мышечных сокращений. Например, в [3] используется мячик с датчиком деформации, который сжимается в ходе снятия электромиограммы с соответствующих мышц руки. Такие решения, как правило, не дают полного представления о всех движениях конечности, особенно с учётом того, что в регистрируемом сигнале ЭМГ отражается активность совокупности мышц. Поэтому целью настоящей работы является разработка и исследование метода синхронного получения сигнала ЭМГ и данных о движениях руки с целью последующего сравнения и анализа измерительной информации.

Биофизические аспекты электромиографического сигнала

Скелетные мышцы состоят из сокращающихся волокон, которые дают характерный отклик на одиночный стимул в форме механического сокращения и генерируют распространяющийся потенциал действия. Механический отклик мышцы является суммарным результатом стимуляции и сокращения нескольких ее двигательных единиц - наименьшими мышечными элементами, которые могут быть активизированы процессами нервной системы. Таким образом суммируется потенциал действия всех вовлеченных в процесс клеток [2].

Биопотенциалы с поверхностных мышц обычно снимают с помощью накожных электродов, которые регистрируют характер общей активности и тонуса отдельных мышц или групп мышц как в состоянии покоя, так и при различных видах мышечных напряжений. Сигнал, снимаемый с накожных электродов, имеет амплитуду 0,1 – 1 мВ и полосу частот от 1 до 1000 Гц.

Формирование мембранного потенциала в зоне деполяризации является достаточно хорошо изученным процессом, описанным во многих работах, в частности [4-6], [8]. Деполяризованная зона возникает на уровне нервно-мышечного соединения и распространяется к поверхности от сухожильных областей. Если поверхностные электроды располагаются на коже параллельно мышечным волокнам, то передвигающийся потенциал регистрируется электродами с временной задержкой, зависящей от скорости проведения по мышечным волокнам. Для регистрации такого сигнала целесообразно использовать электроды, подключённые к дифференциальному усилителю. На рис. 1 показан процесс формирования потенциала действия на выходе дифференциального усилителя при прохождении под кожей потенциала одиночной двигательной единицы [7].

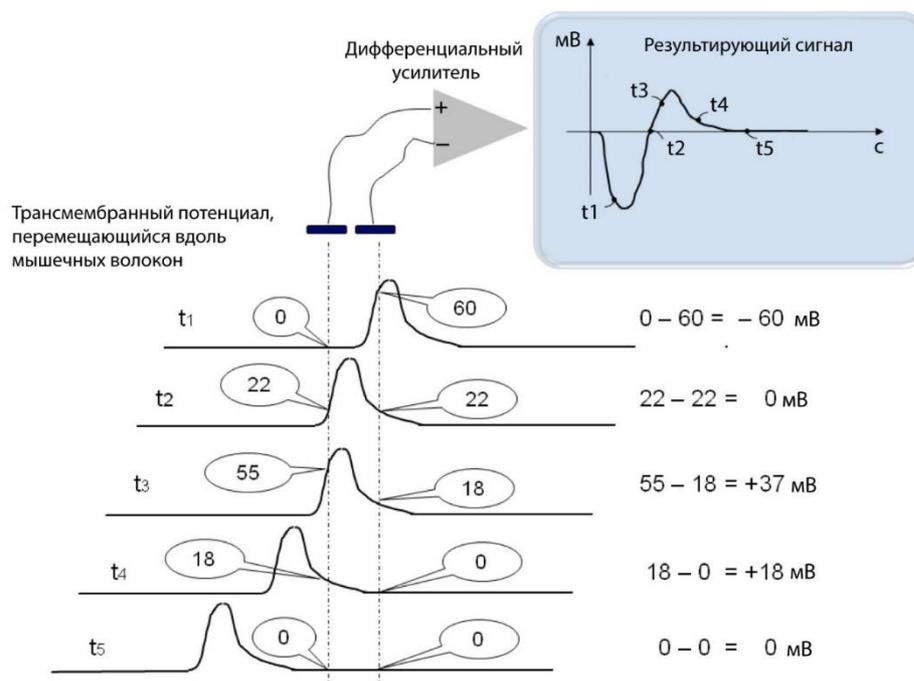


Рис. 1. Принцип регистрации трансмембранного потенциала, перемещающегося вдоль мышечных волокон с использованием дифференциального усилителя

С учётом этих факторов определяется пространственное расположение электродов:

- измерительный электрод накладывается примерно посередине исследуемой мышцы, а точнее – на ее определенную двигательную точку;
- второй электрод располагается на окончании исследуемой мышцы;
- третий электрод (индифферентный) располагается на нейтральной части тела (это может быть мышца, незадействованная в конкретном исследовании или место кости/сухожилия).

Структура аппаратной части системы регистрации ЭМС

Первым основным компонентом системы является модуль регистрации ЭМС. С целью возможной последующей интеграции в различные комплексы был разработан макет модуля, состоящий из дискретных компонентов. Второй модуль предназначен для регистрации пространственного положения рук человека, для этого использовалось задающее устройство копирующего типа (ЗУКТ). Информация с обоих устройств по проводным каналам связи передается на персональный компьютер (ПК) с целью визуализации и регистрации данных. Структурная схема модуля представлена на рисунке 2.

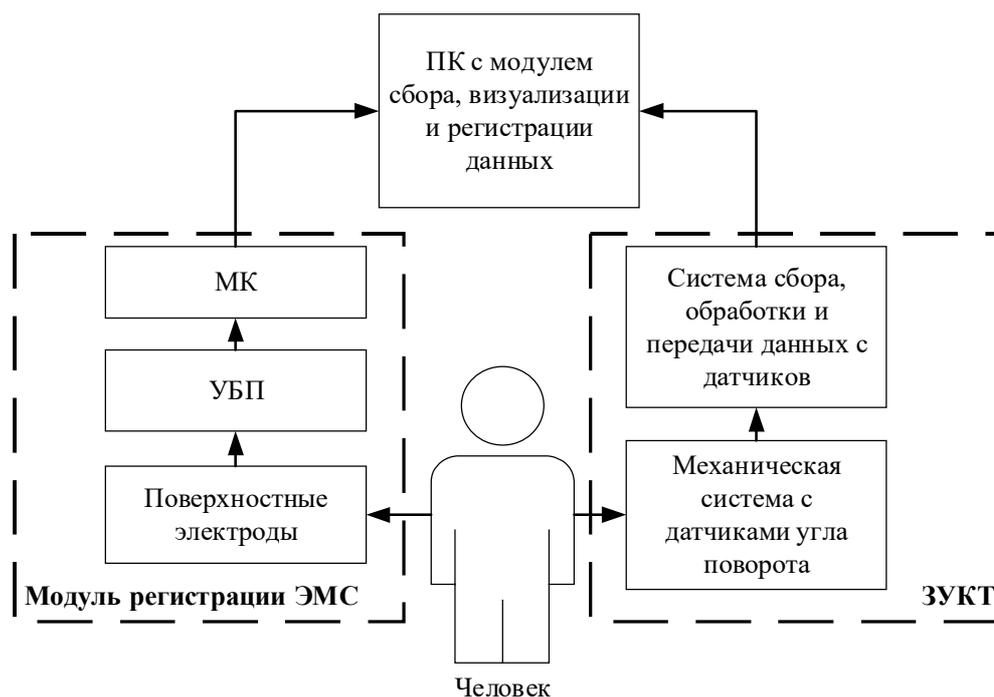


Рис. 2. Структурная схема управляющей системы

Первичное снятие сигнала осуществляется с использованием накожных электродов, медико-технические характеристики которых напрямую влияют на качество и достоверность получаемого сигнала. В исследованиях используются одноразовые накожные хлорсеребряные электроды SKINTACT F-301 [9], обладающие полным сопротивлением не более 500 Ом и разностью электродных потенциалов наводки артефактов - не более 10 мВ. Регистрируемый ЭМС поступает на усилитель биопотенциалов (УБП) для преобразования его исходных амплитудных (0,1 – 1 мВ) характеристик. УБП представлен широко используемым в медицинской технике инструментальным усилителем AD8226, коэффициент усиления которого варьируется от 1 до 1000 и корректируется с помощью одного внешнего резистора. Далее ЭМС поступает на аналого-цифровой преобразователь (АЦП), встроенный в микроконтроллер серии STM32F0 (МК), с помощью которого осуществляется преобразование цифрового сигнала и последующая его передача по интерфейсу UART (универсальный асинхронный приемник-передатчик) на ПК с целью дальнейшей визуализации и записи в файл для анализа.

В соответствии с описанной структурой был реализован макет, общий вид которого представлен на рисунке 3 (а). В ходе экспериментальных исследований для оценки фактических движений была также использована специальная электромеханическая система - задающее устройство копирующего типа (ЗУКТ). Общий вид устройства представлен на рисунке 3 (б).

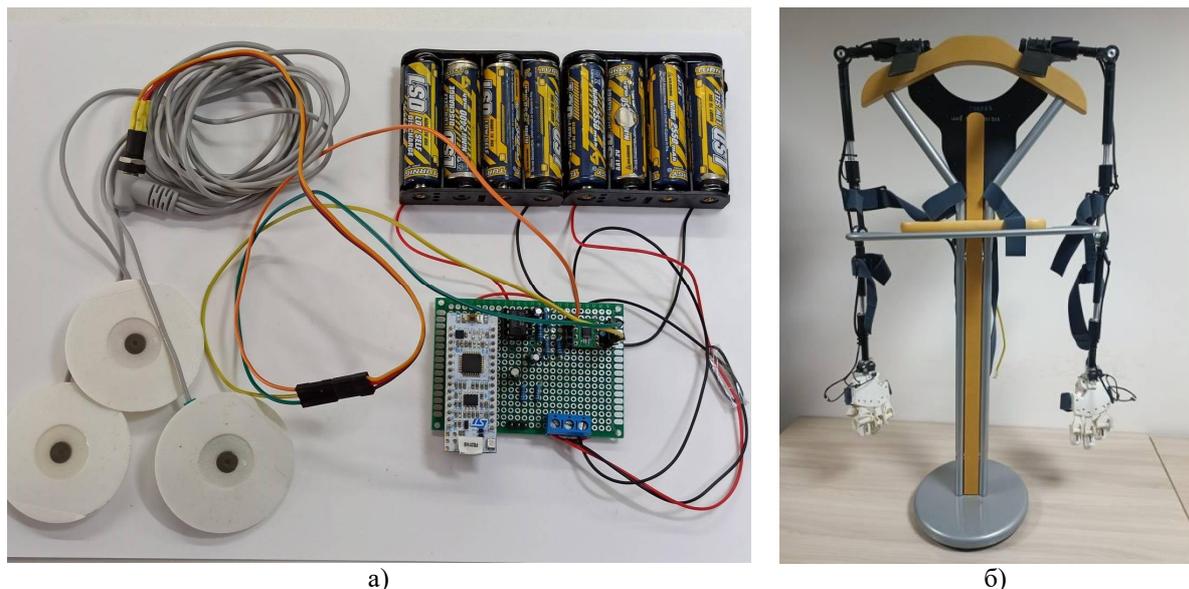


Рис. 3. Аппаратные средства, используемые для экспериментальных исследований:
а - макет системы для регистрации электромиографического сигнала, б – ЗУКТ.

Обработка измерительной информации

Регистрируемый сигнал мышечной активности поступает в цифровом виде с частотой дискретизации 2 кГц. Одновременно с ним принимается информация об угловых положениях верхних конечностей от ЗУКТ с частотой 5 кГц. Для удобства регистрации и отображения данных взаимодействие программных модулей осуществлялось посредством Robot Operating System (ROS) - фреймворка, который очень популярен для программных решений в области робототехники [10]. Каждый пакет с данными имеет временной штамп, что позволяет эффективно синхронизировать информацию с её последующим анализом.

За последние несколько десятилетий было предложено достаточно много различных подходов для анализа электромиограммы. В работе [11] были рассмотрены основные решения в области алгоритмов обработки и, в частности, отмечена высокая эффективность использования вейвлет-анализа. В работе [12] предлагается использовать вейвлет-преобразование с множественным разрешением для выделения информативных составляющих на разных уровнях. Как альтернатива вейвлет-преобразованию, оконное преобразование Фурье с относительно короткими временными окнами может отследить спектральные изменения во времени, но не может обеспечить оптимального временного или частотного разрешения для нестационарного сигнала. По полученным данным, представленным в работе [13], авторы сообщают о высокой эффективности дискретного вейвлет-преобразования с максимальным перекрытием как для выделения особых признаков в сигнале, так и для устранения шума.

В настоящем исследовании для выделения информативной составляющей сигнала предлагается использовать анализ с множественным разрешением на базе дискретного вейвлет преобразования с максимальным перекрытием с применением симлет вейвлета (sym4). Для компонентов, содержащих информативную составляющую вычисляется модуль сигнала, а затем осуществляется сглаживание с использованием фильтра Гаусса.

С другой стороны, необходимо определить параметр на основе данных с ЗУКТ, который будет напрямую связан с характеристиками ЭМС. При использовании пропорционального миоэлектрического контроля (такой подход применяется в ряде роботизированных систем и экзоскелетов) мощность, подаваемая на исполнительный механизм, пропорциональна амплитуде нормализованного сигнала ЭМГ от мышцы [14]. В ходе проведённого экспери-

мента оператор совершает сгибание локтевого сустава, находясь в положении стоя. В общем случае мощность определяется как

$$P = \vec{M} \cdot \vec{\omega},$$

где \vec{M} - момент силы;

$\vec{\omega}$ - вектор угловой скорости.

Момент силы в свою очередь будет определяться как

$$\vec{M} = \vec{r} \times \vec{F},$$

где \vec{r} - радиус вектор точки приложения силы;

\vec{F} - сила, действующая на объект.

В проведённом эксперименте момент силы будет определяться как

$$\vec{M} = l \sin \alpha \cdot \vec{F},$$

где l - длина плеча;

α – угол поворота локтевого сочленения;

\vec{F} - вектор силы тяжести, прямо пропорциональной массе груза, поднимаемой оператором.

Если рассматривать поворот локтевого сустава относительно вертикальной оси, а остальными движениями рукой пренебречь ввиду их малых значений, то мощность будет определяться как

$$P = m \cdot g \cdot \omega \cdot l \cdot \sin \alpha,$$

где m – ускорение свободного падения;

g – масса поднимаемого груза.

Экспериментальные исследования

В ходе экспериментальных исследований использовался макет модуля регистрации ЭМС совместно с ЗУКТ. Электроды для регистрации ЭМС располагались на бицепсе (мышце-сгибателе локтевого сочленения) оператора. Было проведено два исследования, в ходе которых оператор осуществлял подъём двух грузов с разной массой: 2,3 кг и 0,2 кг. Полученные данные с обоих устройств были записаны в файл и в дальнейшем обработаны с использованием средств программного комплекса Matlab.

В ходе первого эксперимента было выполнено сгибание руки в локтевом суставе с грузом массой 2,3 кг. Исходный сигнал, а также его разложение на компоненты представлены на рис. 4. В результате обработки сигнала была выделена информативная составляющая, временные зависимости представлены на рисунке 5. В ходе второго эксперимента аналогичное сгибание в локтевом суставе было выполнено с более лёгким грузом массой 0,2 кг. Исходный сигнал с разложением представлен на рис. 6, результат обработки – на рис. 7.

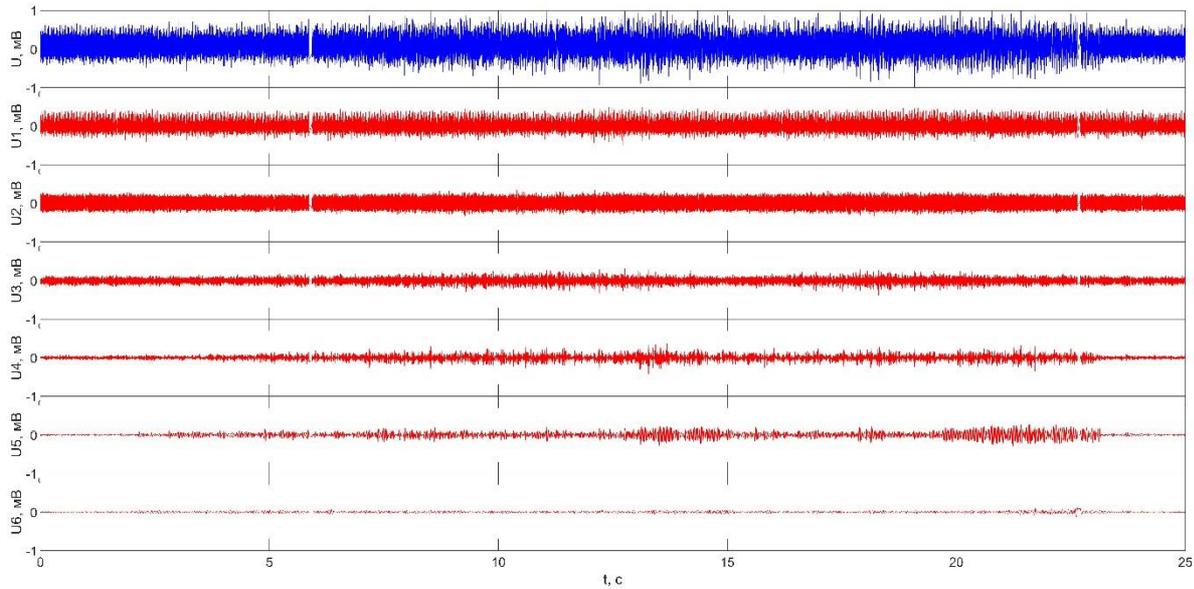


Рис. 4. Исходный ЭМС (поднятие груза массой 2,3 кг) и его разложение с использованием дискретного вейвлет преобразования с максимальным перекрытием: на верхнем графике представлен исходный сигнал, остальные – разложение на 6 компонент.

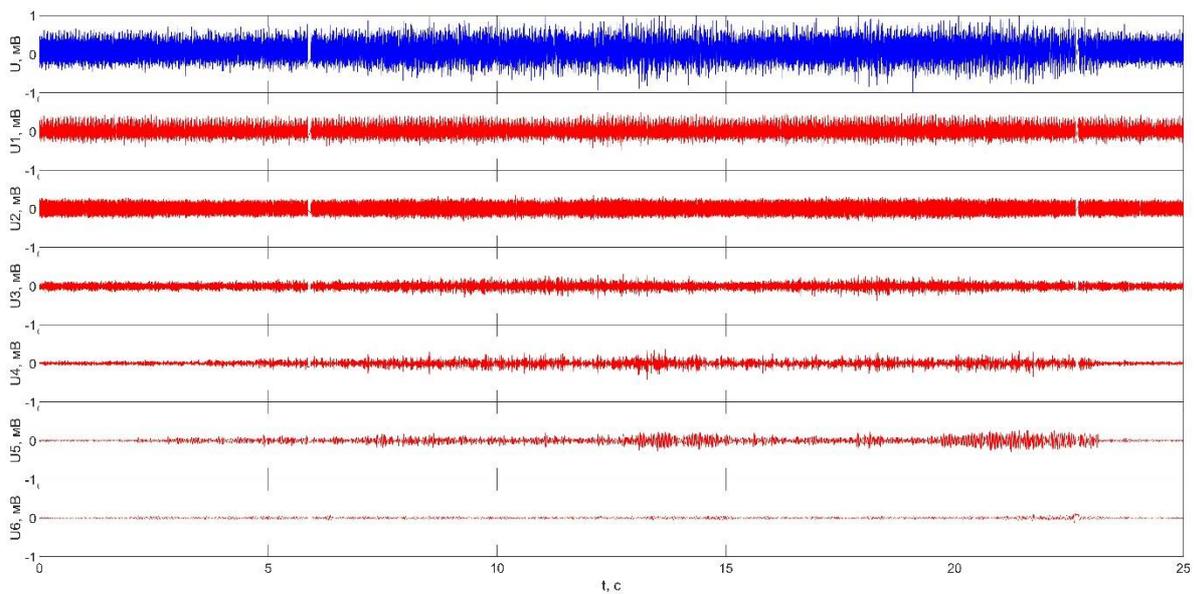


Рис. 5. Результаты обработки ЭМС (поднятие груза массой 2,3 кг): сверху вниз – 1 – исходный сигнал, 2 – угол поворота локтевого сочленения по данным ЗУКТ, 3 – мощность сгибания, рассчитанная по данным ЗУКТ, 4 – обработанный ЭМС.

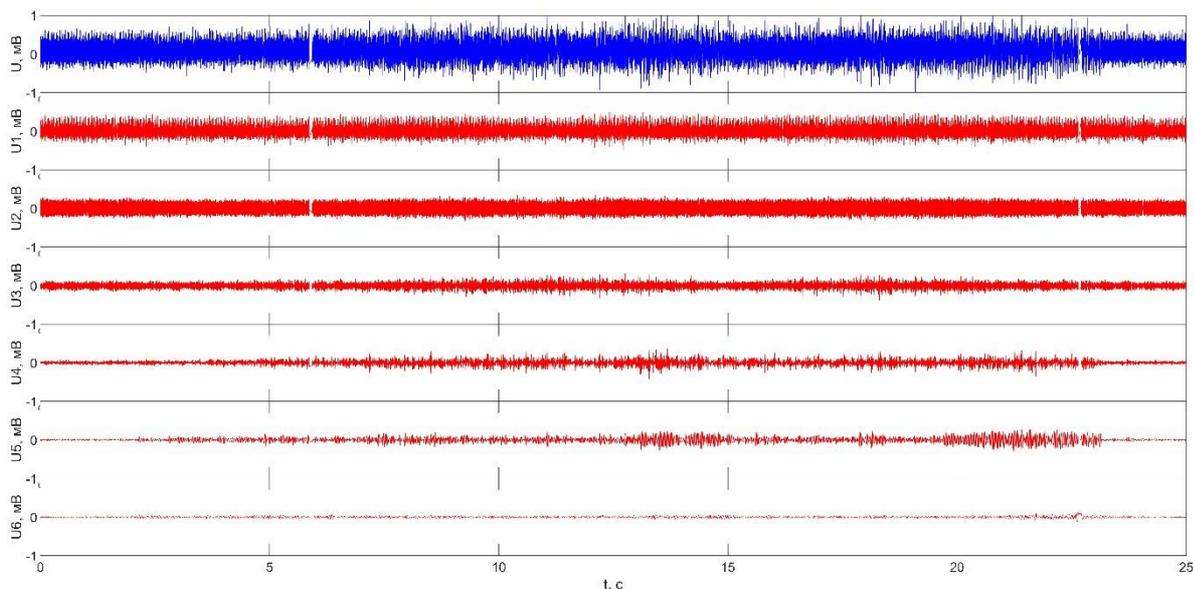


Рис. 6. Исходный ЭМС (поднятие груза массой 0,2 кг) и его разложение с использованием дискретного вейвлет преобразования с максимальным перекрытием: на верхнем графике представлен исходный сигнал, остальные – разложение на 6 компонент.

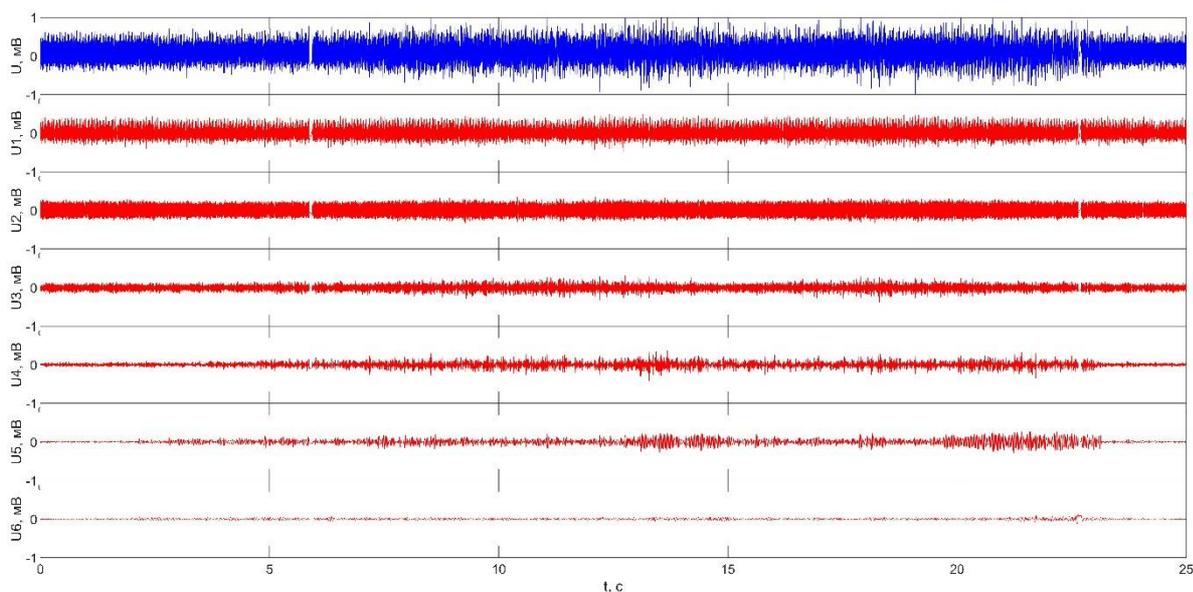


Рис. 7 – Результаты обработки ЭМС (поднятие груза массой 0,2 кг): сверху вниз – 1 – исходный сигнал, 2 – угол поворота локтевого сочленения по данным ЗУКТ, 3 – мощность сгибания, рассчитанная по данным ЗУКТ, 4 – обработанный ЭМС.

Выводы по результатам исследования

Как видно из графического изображения сигналов, можно наблюдать взаимосвязь при изменении мощности, прикладываемой человеком при сгибании руки, и амплитуды ЭМС. Это даёт основания полагать, что предложенный способ обработки ЭМС и выделения его информативной составляющей можно использовать для управления мехатронными устройствами, такими как экзоскелеты и робототехнические манипуляторы, что является актуальной на сегодняшний день задачей [15].

В целом стоит отметить успешность разработки модуля регистрации ЭМС, который позволил получить и зарегистрировать сигнал. Предложенный метод регистрации опорных

данных о движении конечности с использованием ЗУКТ также продемонстрировал свою состоятельность, что позволяет применять его в будущих исследованиях.

Основное направление будущих исследований состоит в уточнении алгоритма обработки экспериментальных данных и возможности применения его для анализа подвижности других мышц и сочленений. Кроме этого, необходимо исследовать особенности применения алгоритма с учётом разных физиологических параметров людей и мест наложения электродов.

Библиографический список

1. T. D. Sanger. Bayesian Filtering of Myoelectric Signals. *Journal of Neurophysiology*, 97(2), 2007, pp. 1839-45
2. P.K., Artemiadis. EMG-based control of a robot arm using low-dimensional embeddings. *IEEE Transactions on Robotics*, 2010, 26(2), pp. 393-398.
3. Kumar P., Devanand R., Schoen M.P. sEMG and Skeletal Muscle Force Modeling: A Nonlinear Hammerstein-Wiener Model, Multiple Regression Model and Entropy based Threshold Approach, *Proceedings of the 2nd International Electronic Conference on Entropy and its Application*, on-line, hosted by University of California, Santa Barbara, November 15-30, 2015.
4. Cram JR, Kasman GS, Holtz J. *Introduction to Surface Electromyography*. Aspen Publishers Inc.; Gaithersburg, Maryland, 1998.
5. Merletti R, Parker PA. *Electromyography: Physiology, Engineering and Noninvasive Applications*. Hoboken, USA: IEEE Press and John Wiley & Sons 2004.
6. Disselhorst-Klug C, Silny J, Rau G. Improvement of spatial resolution in surface-EMG: a theoretical and experimental comparison of different spatial filters. *IEEE Trans Biomed Eng* 1997; 44(7): 567-74
7. A. Merlo, I. Campanini. *Technical Aspects of Surface Electromyography for Clinicians*. *The Open Rehabilitation Journal*, 2010, 3: 98-109.
8. Рангайан Р.М. Анализ биомедицинских сигналов. Практический подход / Пер. с англ. под ред. А.П. Немирко. - М.: ФИЗМАТЛИТ, 2007. - 440 с. - ISBN 978-5-9221-0730-3.
9. Электроды для ЭКГ одноразовые Skintact [Электронный ресурс]. – URL: <https://mirgomed.ru/katalog/rashodnye-materialy/elektrody-i-kabeli-dlya-ekg/elektrody-dlya-ekg-odnorazovye-skintact-avstriya#tovar-4406> (дата обращения 25.03.2022).
10. Bordignon, M. "ROS-Industrial: A worldwide initiative for Open Source industrial robotics" In: Hägele, Martin (Ed.) ; *International Federation of Robotics, Statistical Department; Frankfurt/Main: World Robotics 2016 Service Robots : Statistics, Market Analysis, Forecasts, Case Studies Frankfurt/Main*, 2016. p.294-303
11. M.B.I. Raez, M.S. Hussain, F. Mohd-Yasin. Techniques of EMG signal analysis: Detection, processing, classification and applications. *Biological Procedures Online*, 2006, 8(1):11-35.
12. Kumar DK, Pah ND, Bradley A. Wavelet analysis of surface electromyography to determine muscle fatigue. *IEEE Trans Neural Syst Rehabil Eng*. 2003;11(4):400–406.
13. De Andrade, "Improving sEMG-Based Hand Gesture Recognition Using Maximal Overlap Discrete Wavelet Transform and an Autoencoder Neural Network". In *XXVI Brazilian Congress on Biomedical Engineering (2019)* (pp. 271-279). Springer, Singapore.
14. Ferris, D.P, Czerniecki, J.M. and Hannaford, B.: "An ankle-foot orthosis powered by artificial pneumatic muscles", *Journal of Applied Biomechanics*, 21,pp 189–97, 2005
15. S. Bisi, L. De Luca, B. Shrestha, Z. Yang, V. Gandhi. Development of an EMG-Controlled Mobile Robot. *Robotics* 2018, 7(3), 36.

УДК 621.396; ГРНТИ 47.47

СИСТЕМА СТЕРЕОЗРЕНИЯ В РЕАЛЬНОМ ВРЕМЕНИ НА ПЛИС

И.А. Зинин

*Рязанский государственный радиотехнический университет имени В.Ф. Уткина,
Российская Федерация, Рязань, zia200062@gmail.com*

Аннотация. В данной работе мы рассматриваем систему высококачественного стереозрения в реальном времени на базе ПЛИС. Используя метод AD-Census инициализации затрат, агрегации на основе перекрестных данных и полуглобальной оптимизации, система обеспечивает высококачественные результаты карты глубины.

Ключевые слова: Метод AD-Census, полуглобальная оптимизация, стоимость, агрегирование, диспаратитет.

REAL-TIME STEREO VISION SYSTEM ON FPGA

I.A. Zinin

*Ryazan State Radio Engineering University named after V.F. Utkin,
Russia, Ryazan, zia200062@gmail.com*

The summary. In this paper, we consider an FPGA-based high-quality real-time stereo imaging system. Using the AD-Census method of cost initialization, cross-based aggregation, and semi-global optimization, the system provides high-quality depth map results.

Keywords: AD-Census method, semi-global optimization, cost, aggregation, disparity.

Стереозрение является хорошо известной техникой для получения информации о глубине. В данной работе разрабатываем систему высококачественного стереозрения в реальном времени на базе ПЛИС. Точность системы тестируется на эталоне Middlebury с различными разрешениями изображения. Разработан алгоритм для платы Altera Spartan-VI FPGA. Инициализация затрат, агрегирование затрат, вычисление диспаратности и последующая обработка - это четыре основных этапа алгоритма стереосовмещения. Для достижения высокой точности стереосовмещения мы ориентируемся на алгоритмы с улучшенной технологией агрегирования затрат и глобальной оптимизации.

Расчет стоимости

Инициализация затрат в AD-Census доказано улучшает точность в [2]. Информация абсолютной разности (AD) и Sensus преобразования [3] объединяется в начальных затратах. Затем начальные затраты объединяются в конечную стоимость. Мы используем агрегацию затрат на основе креста, предложенную в [4].

Сначала строится крест для каждого пикселя. Крест состоит из четырех адаптивных областей поддержки, которые состоят из пикселей схожих с центральным пикселем по цвету. Область поддержки пикселя p состоит из всех горизонтальных плеч пикселей вертикального плеча пикселя p . Преимущество этой специальной структуры, агрегирование можно разделить на два этапа: горизонтальное агрегацию, а затем вертикальную агрегацию. Вычислительная сложность значительно снижается при использовании этой технологии. Тем не менее, простая реализация агрегации на основе креста агрегации по-прежнему требует слишком много логических ресурсов в ПЛИС. Эта проблема была рассмотрена в [5], и их инвертированная последовательность агрегирования принята в данной реализации.

Полуглобальная оптимизация, предложенная в [6], заключается в оптимизации гладкости карты диспаратности по различным направлениям в отдельности друг от друга. Для направления оптимизации r оптимизированная стоимость вычисляется следующим образом:

$$L_r(p, d) = C(p, d) + \min \{L_r(p - r, d), \pm P_1, \min_k L_r(p - r, k) + P_2\} - \min_k L_r(p - r, k)$$

Левый член $L_r(p,d)$ представляет собой стоимость пути в направлении r . $C(p,d)$ представляет собой агрегированные затраты. $P1$ и $P2$ – это штрафы за разрывы неравенства. Окончательные оптимизированные затраты являются суммой всех затрат на пути. Оригинальный полуглобальный метод оптимизирует затраты вдоль 16 направлений [6]. Однако направления противоположных линий потока данных, трудно реализовать на ПЛИС. Например, если мы хотим оптимизировать затраты по направлению вверх, то рекурсивная операция оптимизации должна начинаться с нижних пикселей изображения. Это приведет к разрушению конвейерной конструкции. В нашей системе, только 4 направления, правое, нижнее, правое-нижнее и левое-нижнее, выбираются для полуглобальной оптимизации.

Аппаратная реализация

Мы разработали аппаратную структуру, как показано на рисунке 1. Это полностью параметризованная и конвейерная структура. Мы буферизируем данные RGB изображения и векторы Sensus для вычисления затрат AD-Sensus. Начальная стоимость этих пикселей при определенном количестве рассогласований вычисляются и отправляются в модуль агрегирования. После агрегирования затрат по этим расхождениям, применяется полуглобальная оптимизация для повышения точности. Предварительный результат диспаратности получается через модуль WTA. Наконец, модуль постобработки применяется для уточнения карты диспаратности.

Стоит отметить, что размер изображения составляет $H*W$, максимальная длина руки - L_{max} , а число уровней диспаратности равно N_D , что означает, что максимальная диспаратность $d_{max} = N_D - 1$.

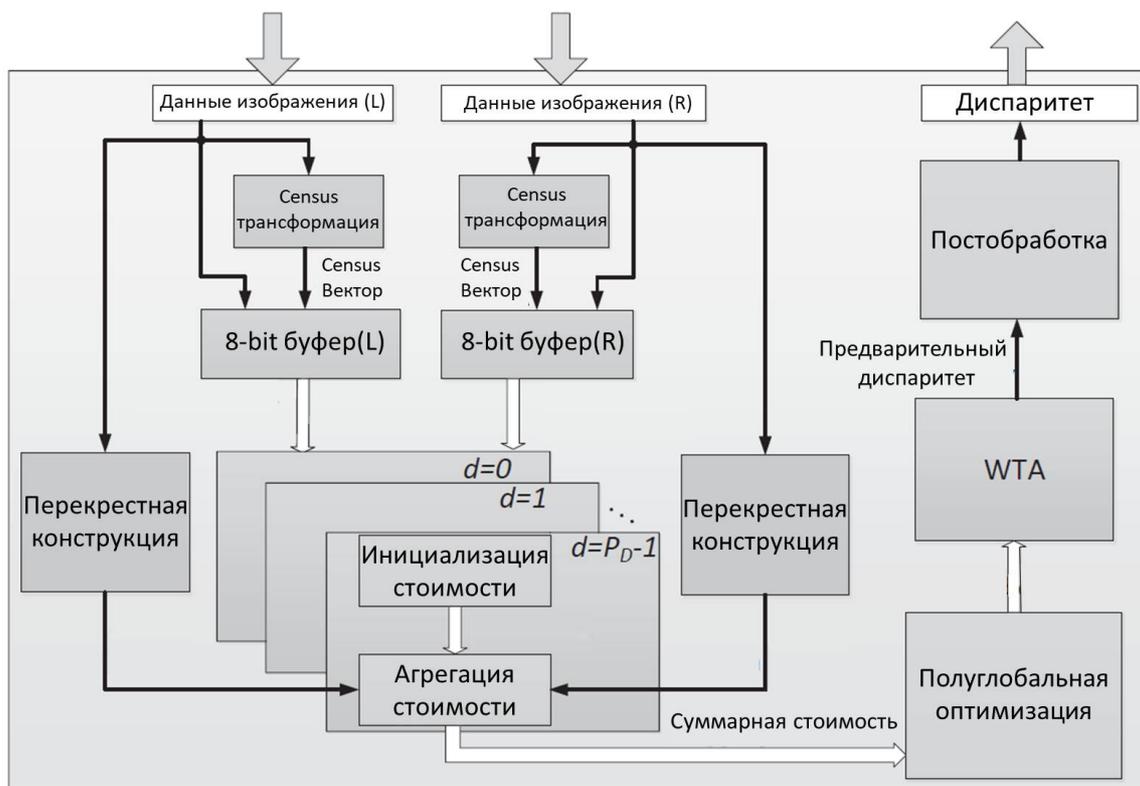


Рис. 1. Общая структура предлагаемого модуля стереосопоставления.

Параллельная обработка важна для ускорения стереосопоставления на ПЛИС. Мы используем параллельную гибридную D структуру, предложенную в [7], которая сочетает в себе параллелизм на уровне диспаратности, параллелизм на уровне различий и параллелизм

на уровне пикселей. В этой системе P_R соседние пиксели вдоль направления столбца обрабатываются параллельно, а диспаратность P_D обрабатывается параллельно для каждого пикселя. Общая степень параллелизма равна $P_D * P_R$ и P_D не обязательно должна быть равна N_D . Каждая группа P_R обрабатывается за $K = N_D / P_D$ проходов. В каждом проходе мы можем обработать P_D неравенств, и полностью мы проходим через $P_D * K = N_D$ неравенств.

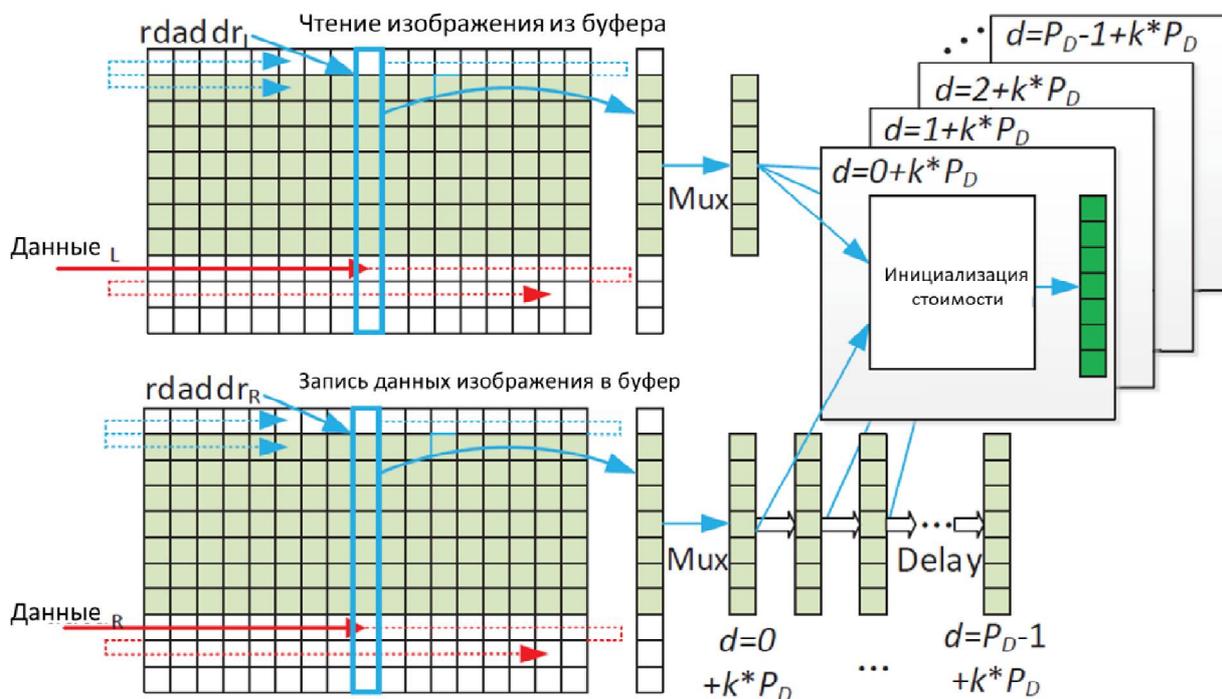


Рис. 2. Структура линейных буферов и модуля инициализации затрат.

Начальные затраты агрегируются сначала по вертикали, а затем по горизонтали. Во время агрегирования номер пикселя в опорной области записывается. Все агрегированные затраты необходимо разделить на этот номер пикселя для нормализации.

Полуглобальная оптимизация

Полуглобальная оптимизация оптимизирует стоимость вдоль нескольких путей по отдельности. В [1] была предложена аппаратная структура, которая обрабатывает несколько пикселей при одном неравенстве в каждом цикле. Однако эта структура не поддерживает параллелизм на уровне диспаратности. Если использовать эту структуру в проекте, то максимальная скорость обработки полуглобальной оптимизации составит P_R затраты за цикл, что намного ниже скорости обработки модуля агрегации. Чтобы улучшить пропускную способность потребления данных, мы предлагаем использовать структуру на основе буфера с параллелизмом на уровне диспаратности и параллелизмом на уровне строк. Эта структура может обрабатывать пиксели P_R на всех уровнях диспаратности параллельно.

Существуют некоторые трудности в реализации параллелизма на уровне диспаратности и параллелизма на уровне строк. Агрегация затраты для каждого пикселя генерируются за несколько проходов, поэтому нельзя получить агрегированные затраты на всех диспропорциях для одного пикселя за один цикл. Чтобы решить эту проблему, используется буфер затрат для перестановки последовательности агрегированных затрат. Для реализации параллелизма на уровне рядов оптимизированные затраты $L_T(p,d)$ верхнего ряда используются как входы для текущего ряда в направлениях снизу, справа-снизу и слева-вниз.

Библиографический список

1. C. Banz, S. Hesselbarth, H. Flatt, H. Blume, and P. Pirsch, "Real-time stereo vision system using semi-global matching disparity estimation: Architecture and FPGA-implementation," in *Embedded Computer Systems (SAMOS), 2010 International Conference on*, pp. 93–101, 2010.
2. X. Mei, X. Sun, M. Zhou, Shaohui Jiao, H. Wang, and X. Zhang, "On building an accurate stereo matching system on graphics hardware," in *Computer Vision Workshops (ICCV Workshops), 2011 IEEE International Conference on*, pp. 467–474, 2011.
3. R. Zabih and J. Woodfill, "Non-parametric local transforms for computing visual correspondence," in *Computer Vision ECCV'94*, pp. 151–158, Springer, 1994.
4. K. Zhang, J. Lu, and G. Lafrait, "Cross-based local stereo matching using orthogonal integral images," *Circuits and Systems for Video Technology, IEEE Transactions on*, vol. 19, no. 7, pp. 1073–1079, 2009.
5. Y. Shan, Y. Hao, W. Wang, Y. Wang, W. Luk, X. Chen, and H. Yang, "Hardware acceleration for accurate stereo vision system using minicensus adaptive support region," *accepted for publication in ACM Transactions on Embedded Computing Systems (TECS)*.
6. H. Hirschmuller, "Stereo processing by semiglobal matching and mutual information," *Pattern Analysis and Machine Intelligence, IEEE Transactions on*, vol. 30, no. 2, pp. 328–341, 2008.
7. Y. Shan, Z. Wang, W. Wang, Y. Hao, Y. Wang, K. Tsoi, W. Luk, and H. Yang, "FPGA based memory efficient high resolution stereo vision system for video tolling," in *Field-Programmable Technology (FPT), 2012 International Conference on*, pp. 29–32, 2012.

УДК 004.9:616-71; ГРНТИ 76.13.15

ПОДГОТОВКА ВХОДНЫХ ДАННЫХ ДЛЯ ИНФОРМАЦИОННОЙ СИСТЕМЫ ПРОГНОЗИРОВАНИЯ СЕРДЕЧНО-СОСУДИСТЫХ ЗАБОЛЕВАНИЙ

А.В. Николаев, О.В. Мельник

*Рязанский государственный радиотехнический университет имени В.Ф. Уткина,
Российская Федерация, Рязань, naw62@mail.ru*

Аннотация. Рассмотрены принципы подготовки входных данных для информационных систем прогнозирования сердечно-сосудистых заболеваний. Предложены принципы кодирования количественных и качественных показателей клинико-инструментальных факторов риска для последующей нейросетевой обработки и анализа.

Ключевые слова: информационная система, входные параметры, сердечно-сосудистые заболевания, искусственные нейронные сети.

PREPARATION OF INPUT DATA FOR INFORMATION SYSTEM FOR PREDICTION OF CARDIOVASCULAR DISEASES

A.V. Nikolaev, O.V. Melnik

*Ryazan State Radio Engineering University named after V.F. Utkin,
Russia, Ryazan, naw62@mail.ru*

The summary: The principles of preparing input data for information systems for predicting cardiovascular diseases are considered. The principles of coding quantitative and qualitative indicators of clinical and instrumental risk factors for subsequent neural network processing and analysis are proposed.

Keywords: information system, input parameters, cardiovascular diseases, artificial neural networks.

Аппарат искусственных нейронных сетей (ИНС) является одним из наиболее перспективных при разработке систем поддержки принятия решений в кардиологии [1]. К достоинствам данного подхода к реализации информационной прогностической системы можно отнести возможность использования любых параметров описания для диагностики заболевания и составления прогнозов, благодаря чему оказываются доступны резервы информации, которые в клинической практике остаются неиспользованными. Трудности в обучении нейронной сети связаны с подбором хорошо исследованных больных с историями болезней,

различать которые должна научиться нейронная сеть. Тем не менее, применение нейронных сетей считается очень перспективным, так как формируемая ими новая информация даст возможность сделать прогнозирование более эффективным, а также позволяет врачу сократить необходимое время диагностики заболевания и на основании ответа нейронной сети назначить наиболее целесообразный курс лечения.

Построение прогностической модели сводится к следующим этапам:

- анализ исходных данных, выбор и обоснование входных параметров;
- разработка и моделирование структуры нейронной сети;
- обучение нейронной сети для задач прогнозирования;
- экспериментальное исследование разработанной модели.

Анализ исходной информации заключается в выборе клинико-инструментальных факторов, на основании которых нейронной сетью должно быть сформировано прогностическое заключение. Далее информация должна быть преобразована в форму, пригодную для интерпретации нейронной сетью. Рассмотрим этот вопрос подробнее.

Нейросети оперируют с информацией, представленной только в виде чисел. Числа подаются на входные синапсы нейросети; ответы, снимаемые с выходных нейронов, также представляют собой числа, поэтому для оценки примера заранее известный ответ также должен быть представлен в виде числа (чисел) [2]. Информация же, на основании которой нейросеть должна давать ответ, может быть самого разнообразного вида: термины, описывающие какие-либо ситуации, числа различного вида и величины, динамические ряды, массивы, графики, динамические кривые, двух- и трехмерные изображения и т.д. Поэтому возникает необходимость корректного представления этой информации в виде чисел, сохраняющих смысл и внутренние взаимосвязи в данных.

Существует огромное количество способов представления информации для различных целей.

Исходные данные для информационной системы прогнозирования сердечно-сосудистых заболеваний были представлены в виде массива информации, содержащейся в базе данных о больных со впервые возникшей стенокардией, созданной на основе медицинских карт больных, проходивших лечение в стационаре Рязанского областного кардиологического диспансера.

В ходе анализа были выявлено, что общее количество параметров, по которым имеется информация о наличии их у тех или иных пациентов составило 46. Из них было отобрано 13 наиболее значимых и наиболее часто встречающихся в записях пациентов.

1. Возраст.
2. Курение.
3. Артериальная гипертония.
4. Верхняя граница артериального давления.
5. Нижняя граница артериального давления.
6. Уровень холестерина.
7. Профессия.
8. Наследственность.
9. Состояние при возникновении первого приступа.
10. Сохранение приступов.
11. Гипертрофия левого желудочка.
12. Эффект нитроглицерина.
13. Употребление алкоголя.

Для обработки нейронной сетью все параметры должны быть представлены в числовой форме, то есть, требуется их дополнительное кодирование [3]. Выбранные входные параметры можно разделить на два класса – количественные и качественные. Количественные

параметры – «возраст», «уровень холестерина» и «артериальное давление». Числовую информацию, подготовленную для нейросетевой обработки, желательно масштабировать, т.е. выровнять диапазоны изменения величин, например, ограничив их интервалом $[0,1]$ или $[-1,1]$. Сделать это можно с помощью линейного преобразования:

$$\tilde{x}_n = \frac{x_n - x_{n\min}}{x_{n\max} - x_{n\min}}(b - a) + a,$$

где x_n и \tilde{x}_n – значения исходного и масштабированного n -го параметра предметной области, подаваемого на n -й входной нейрон нейросети;

$[x_{n\min}, x_{n\max}]$ – реальный диапазон изменения n -го параметра;

$[a, b]$ – приемлемый диапазон изменения входных сигналов.

Качественные параметры были закодированы на основе градаций, представленных в таблице 1.

Таблица 1. Градации качественных информативных параметров

Курение	
Не курит	1
Умеренное (курил, но бросил; курит <10 сиг/день)	2
Хроническое (курит 10-30 лет, 10-20 сиг/день)	3
Хроническое (курит >30 лет)	4
Артериальная гипертония	
Нет	1
ГБ 1 ст.	2
ГБ 2 ст.	3
ГБ 3 ст.	4
Профессия	
Умеренный труд	1
Тяжелый физический труд	2
Руководящая должность	3
Крупная руководящая должность	4
Наследственность	
Нет	1
Отец или мать	2
Мать и отец	3
Состояние при возникновении первого приступа	
Покой	4
Незначительные физические нагрузки	3
Умеренные физические нагрузки	2
Тяжелые нагрузки	1
Сохранение приступов	
Нет	1
1-3 дней	2
3-5 дней	3
>5 дней	4

Продолжение таблицы 1

Эффект нитроглицерина	
Не применялся	1
Хороший эффект	2
Без эффекта	3
Употребление алкоголя	
Нет или эпизодическое	1
Бытовое употребление	2
Злоупотребление, хроническое пьянство	3
Гипертрофия левого желудочка	
Нет	1
Да	2

Прогностическая задача нейронной сети – выявление класса прогноза заболевания. Основываясь на медицинских исследованиях по предмету, можно разбить все возможные исходы рассматриваемого заболевания на 3 класса прогноза следующим образом:

Прогноз 1 – регрессия симптомов, 1 функциональный класс стенокардии;

Прогноз 2 – 2 функциональный класс стенокардии, 3 функциональный класс стенокардии;

Прогноз 3 – 4 функциональный класс стенокардии, инфаркт миокарда и летальный исход.

Таким образом, с использованием рассмотренного подхода к кодированию качественных параметров, в форме, пригодной для обработки информационной системой, могут быть представлены как входные, так и выходные параметры ИНС.

Задача формирования «медицинского» прогноза на основе интерпретации совокупности факторов риска с позиции анализа данных представляет собой, по сути, задачу классификации. Поэтому дальнейший выбор структуры ИНС для решения задачи прогнозирования должен быть осуществлен среди сетей-классификаторов.

Библиографический список

1. Константин Камышев, Виктор Курейчик, Илья Бородинский, Евгений Берсенов. Перспективы применения нейронных сетей в кардиометрии. *Cardiometry*; Выпуск 17; Ноябрь 2020; стр. 85-91; DOI: 10.12710/cardiometry.2020.17.8591.
2. Россиев Д.А. Медицинская нейроинформатика / Нейроинформатика. Новосибирск: Наука, Сибирская издательская фирма РАН, 1998.
3. Головкин В. А. Нейронные сети: обучение, организация и применение. М: ИПРЖР, 2001. 256 с.

СЕКЦИЯ «СТАНДАРТИЗАЦИЯ И УПРАВЛЕНИЕ КАЧЕСТВОМ»

УДК 691.322

ИСПОЛЬЗОВАНИЕ ЭЛЕМЕНТОВ ИННОВАЦИОННОГО ПРОЕКТА ДЛЯ ПОВЫШЕНИЯ КАЧЕСТВА ВЫСШЕГО ТЕХНИЧЕСКОГО ОБРАЗОВАНИЯ

В.В. Белов, М.А. Смирнов

*Тверской государственный технический университет,
Россия, Тверь, vladim-bel@yandex.ru*

Аннотация. Главным инструментом повышения качества технического и в частности строительного образования является инновационная составляющая в области подготовки конкурентоспособных инженерных кадров. Показано, что формирование, внедрение и совершенствование инновационных навыков молодых специалистов технического профиля, прежде всего в рамках магистерской подготовки, должно идти по пути представления выпускных квалификационных работ в форме стартапов за счет внедрения в диссертации элементов инновационного проекта. Это требует включения в учебные планы соответствующих дисциплин и использования методических приемов на всем протяжении обучения, начиная от выдачи заданий на начальном этапе и заканчивая инновационными разработками в период заключительных практик и подготовки диссертации. Такая методология подготовки инженерных кадров несомненно внесет достойный вклад в формирование профессионального сообщества в нашей стране.

Ключевые слова: элементы инновационного проекта в теории и практике магистерской подготовки в техническом образовании, выпускные квалификационные работы в форме стартапов

USE OF INNOVATIVE PROJECT ELEMENTS TO IMPROVE THE QUALITY OF HIGHER TECHNICAL EDUCATION

V.V. Belov, M.A. Smirnov

*Tver State Technical University,
Russia, Tver, vladim-bel@yandex.ru*

Abstract. The main tool for improving the quality of technical and in particular construction education is an innovative component in the field of training competitive engineering personnel. It has been shown that the formation, introduction and improvement of innovative skills of young technical specialists, primarily within the framework of master's training, should follow the path of presenting final qualification works in the form of startups due to the introduction of elements of an innovative project into dissertations. This requires the inclusion of relevant disciplines in the curricula and the use of methodological techniques throughout the training, from the issuance of tasks at the initial stage to innovative developments during the final practice period. Such a methodology for training engineering personnel will undoubtedly make a worthy contribution to the formation of a professional community in our country.

Keywords: elements of an innovative project in the theory and practice of master's training in technical education, graduate qualification work in the form of startups

Главным инструментом повышения качества образования в техническом университете является инновационная деятельность преподавателей, студентов и сотрудников, связанная с разработкой востребованных проектов в области модернизации промышленных предприятий и подготовкой для них конкурентоспособных инженерных кадров.

Главный источник конкурентных преимуществ современной компании – инновационный потенциал персонала. Именно благодаря ему появляются прорывные инновации, которые могут вывести компанию в лидеры рынка. Хотя организации инновационной сферы зачастую предпочитают нанимать специалистов с техническим образованием, считая компетентность в области экономики и менеджмента недостаточной для руководства инновационными проектами, тем не менее таким специалистам, как правило, не хватает навыков в области инновационного менеджмента и управления проектами.

В современной системе российского технического образования пока не сформирован концептуальный подход к подготовке специалистов с компетенциями в области инновационного менеджмента. Учебные программы в этой сфере представлены по следующим направлениям:

- образование в сфере управления инновациями как базовое (подготовка бакалавров и магистров);
- образование в сфере управления инновациями как дополнение к первому высшему образованию: программы второго высшего образования, профессиональной переподготовки и повышения квалификации.

При этом обучение осуществляется в образовательных центрах, к которым относятся не только вузы, но и отраслевые центры профессиональной переподготовки, консалтинговые организации, проводящие бизнес-семинары и тренинги [1].

Наиболее широко представлены программы дополнительного и второго высшего образования в сфере управления инновациями в Академии народного хозяйства при Правительстве РФ (факультет инновационно-технологического бизнеса), Государственном университете управления (Институт инноватики и логистики), Санкт-Петербургском государственном политехническом университете. Слушатели данных программ, как правило, имеют базовое техническое или естественнонаучное образование, обладают достаточным опытом в бизнесе и на этой основе предъявляют конкретные требования к образованию в сфере экономики и менеджмента [2].

Программы повышения квалификации специалистов (до 150 ч) и программы профессиональной переподготовки (более 500 ч) носят учебно-консультационный характер и направлены на формирование профессиональных компетенций в следующих областях:

- оценка коммерческой значимости результатов исследований и разработок;
- управление интеллектуальной собственностью;
- составление и экспертиза инновационных проектов, в том числе бизнес-планов;
- поиск стратегических партнеров и др. [3].

При этом до сих пор не достигнут консенсус в отношении того, какое базовое образование должен иметь менеджер инновационной деятельности: техническое или экономическое. Продолжается дискуссия по вопросам: в какой степени необходимы инновационному менеджеру или предпринимателю базовые технические и естественнонаучные знания, кого лучше «доучивать» для работы в инновационной сфере – специалиста с базовым естественным или экономическим (управленческим) образованием?

Согласно распространенной концепции, руководитель инновационного проекта должен обладать базовым техническим образованием и дополнительно пройти обучение в сфере управления проектом. Очевидно, что элементы такого обучения необходимо внедрять в учебные планы подготовки магистров и специалистов. В российской системе технического образования в программах магистратуры и специалитета до сих пор преобладают технические и естественнонаучные дисциплины и недостаточно компонентов инновационной направленности.

Образовательная деятельность по подготовке магистров и специалистов как инновационных инженеров, что в настоящее время является главной задачей технического университета, должна базироваться на формировании, внедрении и совершенствовании инновационных навыков у молодых специалистов технического профиля, прежде всего в рамках выпускных квалификационных работ, в частности магистерских диссертаций. Эта деятельность должна идти по пути представления выпускных квалификационных работ в форме стартапов за счет внедрения в диссертации элементов инновационного проекта и требует включения в учебные планы соответствующих дисциплин и использования методических приемов на всем протяжении обучения, начиная от выдачи заданий на начальном этапе и заканчивая инновационными разработками в период заключительных практик и подготовки диссертации.

В отличие от традиционных образовательных методов процесс подготовки инновационных инженеров должен также иметь инновационный характер. Необходима разработка обучающих методов, которые способствуют повышению качественных показателей обучения и сокращению сроков достижения специалистами уровня инновационного инженера.

В Тверском государственном техническом университете на кафедре производства строительных изделий и конструкций одним из авторов разработан и введен в образовательный процесс подготовки магистров по направлению «Строительство», профиль «Технология строительных материалов, изделий и конструкций» учебный курс «Организационно-управленческие инновации в строительстве», что чрезвычайно актуально для специалистов строительной отрасли. В этом курсе рассматриваются ключевые положения управления инновационными проектами в строительной сфере: общие вопросы развития социально-экономических систем; стратегические аспекты реализации инновационной деятельности, начиная с выявления взаимозависимостей между предпринимательством и инновационной деятельностью, до организационных стратегий инновационного предпринимательства, стратегии продвижения нововведений в условиях жесткой конкурентной борьбы; особенности рынка научно-технической продукции и поведения фирм на нем; принципы деятельности инновационных организаций и стратегии развития; мотивация персонала, участвующего в изменениях; ресурсное обеспечение инновационной деятельности.

Кроме того, вся научно-исследовательская деятельность магистрантов на кафедре в рамках соответствующих практик и самостоятельной работы, которая является основой будущих магистерских диссертаций, начиная с выдачи индивидуальных заданий нацелена на практическое применение и коммерческую эффективность. Этому же во многом посвящены занятия по дисциплине «Научно-практический семинар», задачами которой являются:

- ознакомление студентов с методикой разработки научных гипотез, составления программы исследований, выполнения экспериментов и их текущего анализа;
- выработка у студентов умения получения определенных результатов исследовательской деятельности, выдвижения новых идей, доведения результатов до практического использования с возможностью коммерциализации и разработки концепции инновационного проекта, передачи результатов для обсуждения научно-технической общественностью;
- привитие у студентов способности оформлять, представлять и докладывать результаты выполненной работы в форме публикаций, презентаций и устных докладов.

В итоге прохождения данной дисциплины практически все магистранты профиля ТСК на базе выполненной под руководством преподавателя кафедры научно-исследовательской работы по индивидуальной теме подготавливают инновационную разработку по образцу и подобию проектов конкурса «УМНИК», и многие из студентов успешно выступают в этом конкурсе.

Внедрение информационных технологий способствует оптимальному решению вышеназванных задач и устранению ряда недостатков традиционных способов обучения. Эти вопросы во всей полноте решаются с помощью виртуальных лабораторий, созданных на компьютерах [4, 5]. Виртуальная лаборатория, как правило, сочетает в себе имитационную динамическую модель оборудования и программную оболочку, включающую методическое сопровождение лабораторной работы [6].

Заключительное оформление магистерской диссертации с элементами инновационного проекта или стартапа магистранты профиля ТСК выполняют в рамках проектной, преддипломной практик, а также непосредственно подготовки диссертации. В частности, основной целью проектной практики является закрепление студентом теоретических знаний, полученных в процессе обучения; формирование и развитие у студентов навыков разработки и анализа инновационных проектов в виде бизнес-планов и стартапов в области производства строительных материалов, изделий и конструкций. Задачами данной практики выступают:

- формирование понимания особенностей инновационной деятельности и специфических черт управления инновационными проектами;
- формирование комплекса знаний и навыков в области анализа и оценки инвестиционных инновационных проектов;
- разработка и анализ инновационного проекта в виде бизнес-плана и стартапа в области производства строительных материалов, изделий и конструкций на основе собственных научных исследований.

На преддипломной практике студенты завершают привязку своего инновационного проекта к конкретному предприятию стройиндустрии г. Твери, Тверской области или других регионов России, что является основным содержанием научно-прикладного раздела магистерской диссертации, являющегося заключительным разделом ВКР и подводящего итоги предыдущих двух разделов: аналитического (теоретического) и научно-экспериментального.

Рассмотренные методические приемы, по мнению авторов, являются эффективным методическим инструментарием, обеспечивающим единство теоретической и практической подготовки молодых специалистов технического профиля инновационной направленности, что сегодня настоятельно требует практика отечественных предприятий и организаций от высшего технического образования.

В структуре производительных сил основным разработчиком новых рыночных продуктов является инновационный инженер. В его профессиональной структуре главным фактором, влияющим на качество инноваций, являются необходимые личностные качества, уровень профессиональной подготовки, а в будущем и накопленный опыт работы.

Библиографический список

1. Зинов В.Г. Менеджмент инноваций: Кадровое обеспечение (М.: Дело, 2005. 496 с.
2. Гунин В.Н., Киселев Б.Н., Ляпина С.Ю., Сутормина А.Е. Аналитические и научно-методические материалы для переподготовки и повышения квалификации кадров инновационной сферы деятельности. М.: ГУУ, 2006. 69 с.
3. Хомутский Д.Ю. Как измерить инновации // Управление компании-ей, 2006. № 2. С. 15–19.
4. Соловов А.В. Виртуальные учебные лаборатории в инженерном образовании / А.В. Соловов // Сборник статей "Индустрия образования". Выпуск 2. М.: МГИУ, 2002. С-386-392.
5. Норенков И.П. Информационные технологии в образовании / И.П. Норенков, А.М. Зимин // М.: Изд-во МГТУ им. Н.Э. Баумана, 2004. 352 с.: ил. (Сер. Информатика в техническом университете.).
6. Белов В.В. Виртуальные лаборатории в технологии строительных материалов / В.В. Белов, И.В. Образцов // Актуальные проблемы качества образования в высшей школе: материалы докладов заочной научно-практической конференции. Ч. 2. Тверь: ТвГТУ, 2017. С. 17-21.

УДК 378.4; ГРНТИ 14.35.07

АНАЛИЗ ПОТЕРЬ В ОБРАЗОВАТЕЛЬНОЙ ДЕЯТЕЛЬНОСТИ

А.В. Губарев, С.В. Губарева

*Рязанский государственный радиотехнический университет имени В.Ф. Уткина,
Российская Федерация, Рязань, gubarev.a.v@rsreu.ru*

Аннотация. В работе рассмотрены потери, предполагаемые системой бережливого производства относительно образовательного процесса и деятельности образовательного учреждения в целом.

Ключевые слова: потери, бережливое производство, образование, документооборот.

ANALYSIS OF LOSSES IN EDUCATIONAL ACTIVITIES

A.V. Gubarev, S.V. Gubareva

*Ryazan State Radio Engineering University named after V.F. Utkin,
Russia, Ryazan, gubarev.a.v@rsreu.ru*

The summary. The paper considers the losses assumed by the lean production system in relation to the educational process and the activities of the educational institution as a whole.

Keywords: losses, lean manufacturing, education, document management.

В ходе деятельности любой организации возникают потери. Образовательный процесс не исключение.

Основным видом деятельности учреждений высшего образования является обучение студентов. Однако за обучением кроется множество вспомогательных процессов, в ходе которых и возникает большинство видов потерь. Некоторые из них возможно устранить, применив различные методики реформирования процессов, в то время как минимизация других потерь практически невозможна без глобального вмешательства в систему.

Рассмотрим 8 видов потерь, предполагаемых системой бережливого производства, в рамках деятельности образовательной организации высшего образования.

Перепроизводство. В организациях, оказывающих образовательные услуги, перепроизводство заключается в излишней отчетности как в основном, так и во вспомогательных процессах. Планы, отчеты, протоколы и прочая документация, особенно на бумажных носителях, захламляет пространство и усложняет поиски нужной документации.

Также элементом перепроизводства является осуществление обучения по невостребованным направлениям. Это могут быть направления подготовки бакалавриата/ магистратуры, направления повышения квалификации / переподготовки кадров. Для осуществления обучения требуется подготовка множества документов, в том числе рабочих программ, конспектов лекций, требуется штат сотрудников, осуществляющих обучение, а также вся необходимая инфраструктура (помещение, ПК, лабораторное оборудование).

Всё это требует немалых материальных вложений, а в результате получаем направление подготовки, которое не востребовано среди абитуриентов или направление повышения квалификации кадров, по программе которого нет желающих обучаться.

Еще одним элементом перепроизводства является псевдонаучная работа преподавательского состава. Условия трудового договора подразумевают ведение научной деятельности (публикация статей, участие в конференциях). Однако зачастую аналогичная деятельность осуществляется "для галочки" и не имеет с наукой ничего общего. Поэтому подобное можно считать перепроизводством.

Причинами потерь из-за перепроизводства могут быть привычка готовить материалы "про запас", привычка работать по устаревшим стандартам.

Свести к минимуму потери из-за перепроизводства можно посредством детального пересмотра всех процессов, устранения ненужных операций и составления ненужной документации.

Транспортировка. Наиболее распространенным примером потерь из-за транспортировки является ведение физической документации (на бумажных носителях) при возможности ведения электронной версии. Транспортировка здесь заключается в передачи документации как при её составлении, так и в процессе использования/ редактирования. Особенно выражены потери времени при транспортировке документации между различными корпусами, удаленными друг от друга. В то время как отправка электронного файла документа на электронную почту займёт пару минут.

Причина потерь из-за транспортировки кроется в отсутствии единых стандартов обработки и ведения документации, в нежелании или невозможности внедрить электронный документооборот, в неумении персонала работать с электронным документооборотом.

Потери данного вида легко устранить. Достаточно внедрить электронный документооборот, создать единую базу данных документов и обучить сотрудников пользоваться данными технологиями.

Ожидание. Потери из-за ожидания в сфере образования это, в первую очередь, ожидание работы. Это ожидание необходимой документации, когда её нет на рабочем месте, когда её ещё не подготовили/ не согласовали/ не подписали, когда её не могут найти в куче другой документации, когда её еще не привезли с другого корпуса и т.д.

Потери из-за ожидания присутствуют также в основном процессе - процессе обучения. Это ожидание опоздавших (занятие не начнется, если преподаватель или вся группа студентов стоит в пробке на момент начала занятия). Также стоит учитывать ожидание как очередь в столовой, раздевалке, у турникетов (особенно актуально в период пандемии, когда всем измеряли температуру на входе).

Причиной потерь из-за ожидания документации является отсутствие четкой системы электронного документооборота. В остальном у ожидания скорее естественные причины, где большую роль играет человеческий фактор. Поэтому устранить их раз и навсегда практически невозможно. Можно лишь немного уменьшить их влияние.

Дефекты. Дефектами в ходе деятельности образовательной организации можно считать ошибки, возникающие в основном и вспомогательных процессах. Это ошибки могут иметь различные последствия. В случае, если преподаватель читает лекции по материалам неактуальных законов, стандартов, это приведет к потерям знаний у студентов.

Если ошибка при внесении данных (например, по результатам промежуточной аттестации), то последствия могут заключаться в том, что студент по ошибке получит неверную оценку.

Не такое явное проявление возникновения дефектов это темповое снижение качества образования. Причиной этому могут служить самые разные факторы, как внутренней так и внешней среды.

Также дефектом в сфере образования является невыполнение программ, планов. Это нереализация запланированного преподавателем объема лекций, невыполнение плана по количеству публикаций студента на момент защиты выпускной квалификационной работы, невыполнение плана по стажировке преподавательского состава.

Потери из-за возникновения дефектов в образовательной деятельности могут быть самые разные, иметь разные причины и последствия. Поэтому универсального решения быть не может. Но в любом случае это обширный анализ всех процессов на предмет вероятности возникновения ошибок.

Лишняя обработка. Данный вид потерь в первую очередь касается вспомогательных процессов. Операции по согласованию и утверждению документации часто бывают избыточными. Разработанные приказы, протоколы согласовываются у инстанций, которые к данным документам не имеют никакого отношения. Это увеличивает процесс согласования с нескольких минут вплоть до нескольких дней, так как на этом этапе подключаются другие

виды потерь, такие как потери от ожидания, от транспортировки (в случае если для согласования документации требуется доставить ее в удаленное место).

Также очевидным примером излишней обработки является обязательное посещение такие мероприятий как собрания, совещания, советы. Безусловно есть лица, которым необходимо там присутствовать (принимать решения, оглашать результаты и т.д.). Однако те, кто присутствует там просто так, попросту теряет время.

Причина выполнения большего объема работ, чем требуется в общей привычной для всех системе. Традиционные методы работы не учитывают наличие информационных технологий, не учитывают изменения в процессах, изменения в обязанностях отделов, служб.

Лишние движения. Потери от лишних движений не столь значительны, однако их влияние нельзя игнорировать. Под лишними движениями подразумевается поиск необходимых вещей в пределах рабочей зоны. Это происходит из-за того, что преподавательский стол не является рабочим местом только одного человека. За день на одном и том же рабочем месте работают несколько человек. Поэтому беспорядок - вполне естественная вещь при таких условиях.

Также имеют место потери времени со стороны студентов (чаще первокурсников), которые не могут найти нужную им аудиторию. Наличие в свободном доступе подробного плана расположения аудиторий, лестниц, ходов решит эту проблему.

В случае с беспорядком на рабочем месте наиболее рационально применить систему бережливого производства 5S, в рамках которой отсортировать нужное от ненужного, промаркировать и расположить документацию согласно её актуальности и частоты использования.

Запасы. Запасы в образовательном учреждении представляют собой склады устаревшей неактуальной литературы, многочисленных студенческих работ, нерабочего лабораторного оборудования. Они требуют места для хранения и коммунальных ресурсов (электричество, отопление).

Ещё один вид запасов - это закупка материалов впрок. Это может быть учебная литература, количество которой сильно превышает число студентов. Также к этой категории запасов относятся канцтовары, запчасти для оргтехники, программное обеспечение. Всё, кроме последнего, требует места для хранения и сотрудника, ведущего учет и отвечающего за распределение запасов.

Это были материальные запасы, требующие затрат на поддержание их ценности. Однако есть запасы нематериальные, которые заключаются в получении сотрудниками компетенций задолго до того, как они могут пригодиться. Полученные знания забываются, становятся неактуальными, поэтому со временем знания человека уже не соответствуют свидетельству о подготовке/ переподготовке.

Материальные запасы искоренить легко, достаточно закупать материалы в соответствии с потребностями организации. Помещения и мебель, задействованные для хранения запасов, можно использовать в других целях..

С нематериальными запасами сложнее, они есть и всегда будут, можно лишь немного контролировать процесс применения навыков специалистов.

Нереализованный человеческий потенциал. Это самый неочевидный вид потерь. В любой организации есть процессы, в которых присутствуют условно простые, рутинные операции. В большинстве случаев они входят в должностные обязанности сотрудников, к которым предъявляются определенные требования (высшее образование, опыт работы, необходимая квалификация). Подобное распределение нелогично, так как люди, обладающие ценными навыками, могут принести реальную пользу (например, заниматься научной деятельностью). Легкую работу, такую как заполнение бланков, ведомостей, составление отчетов по подготовленным данным и т.д. можно поручить сотруднику, не имеющему образования (например, взять студента на подработку).

Рассмотренные виды потерь присущи каждой организации, любой деятельности. Внедрение системы бережливого производства заключается в устранении потерь на всех этапах, во всех процессах.

Библиографический список

1. Губарев А.В., Волкова С.В. Повышение качества сварного шва при производстве трубной продукции // Научно-производственный и культурно-образовательный журнал «Качество и жизнь». №2 2017 г. с. 100-102.
2. Губарев А.В., Волкова С.В. Сокращение времени переналадки трубоэлектросварочного оборудования на основе концепции бережливого производства // Сборник трудов Международного научно-технического и научно-методического форума «Современные технологии в науке и образовании» СТНО-2018. РГРТУ, Рязань, 2018.с. 74-77.
3. Губарев А.В., Волкова С.В. Проблемы внедрения концепции бережливого производства в трубной промышленности и пути их решения // Современные наукоемкие технологии. 2018. № 10. С. 27-31.

УДК 006.91; ГРНТИ 90.27.29

ВЫЯВЛЕНИЕ ПРОБЛЕМ В ОБЛАСТИ МЕТРОЛОГИЧЕСКОГО ОБЕСПЕЧЕНИЯ ПРОЦЕССА ПОВЕРКИ УЛЬТРАЗВУКОВЫХ РАСХОДОМЕРОВ ЖИДКИХ СРЕД

А.И. Миронова

*Рязанский государственный радиотехнический университет имени В.Ф. Уткина,
Российская Федерация, Рязань*

Аннотация. В работе рассмотрен процесс поверки ультразвуковых расходомеров жидких сред, выявлены проблемы свойственный данному процессу и предложены возможные пути их решения.

Ключевые слова: метрологическое обеспечение, поверка, расходомер.

IDENTIFICATION OF PROBLEMS IN THE FIELD OF METROLOGICAL SUPPORT OF THE PROCESS OF VERIFICATION OF ULTRASONIC FLOWMETERS OF LIQUID MEDIA

A.I. Mironova

*Ryazan State Radio Engineering University named after V.F. Utkin,
Russia, Ryazan*

The summary. The paper considers the process of checking ultrasonic flowmeters of liquid media, identifies problems inherent in this process and suggests possible ways to solve them.

Keywords: metrological support, verification, flow meter..

Первичной поверке подвергается каждый экземпляр расходомеров при выпуске из производства до ввода в эксплуатацию. Периодической поверке подвергается каждый экземпляр расходомеров, находящийся в эксплуатации, через установленный интервал между поверками.

Первичная поверка расходомеров проводится:

- проливным методом;
- беспроливным методом.

При этом периодическая поверка расходомеров проводится беспроливным бездемон- тажным методом (без демонтажа расходомеров) на объекте. Процесс поверки состоит из выполнения операций, указанных на рисунке 1. При этом при первичной поверке не проводятся операции 8 и 9, а при периодической – операции 5 и 6.



Рис. 1. Процесс поверки расходомера

К условиям поверки предъявляется ряд требований (к температуре, влажности, давлению, напряжению питания и ряд других).

При проведении внешнего осмотра устанавливают соответствие расходомеров следующим требованиям к комплектности, маркировке, а также проверяют, что первичный и

вторичный преобразователи не имеют повреждений и дефектов покрытия, нарушающих внешний вид и препятствующих чтению надписей, влияющие на работоспособность.

На втором этапе используется программа, в которой считается и выдается контрольная сумма. Результат поверки считается положительным, если выданная программой контрольная сумма совпадает с контрольной суммой, указанной в паспорте на расходомер.

Проверка электрического сопротивления изоляции цепей питания относительно корпуса проводится мегаомметром с номинальным напряжением 500 В или 100 В. Результат считается положительным, если значения сопротивления изоляции электрических цепей составляет не менее 100 МОм.

Опробуют расходомеры путем проведения контроля исправности каждого канала.

Определение основной погрешности проводят методом сравнения значений выходных сигналов расходомеров с показаниями расходомерной установки при градуировочной температуре измеряемой среды, указанной в паспорте на поверяемый расходомер.

При проверке устойчивости показаний расходомеров при изменении температуры измеряемой среды устанавливают значение температуры измеряемой среды, в диапазоне от 15 до 25 °С, и определяют погрешность расходомера.

Определяют дополнительную погрешность расходомеров, вызванную отклонением температуры измеряемой среды от градуировочного значения на каждые 10 °С по формуле:

$$\gamma_{10^{\circ}\text{C}} = \left| \frac{\delta(t_2) - \delta(t_1)}{t_2 - t_1} \right| \cdot 10^{\circ}\text{C},$$

где $\delta(t_1)$ – среднее значение погрешности при градуировочной температуре измеряемой среды, t_1 , %;

$\delta(t_2)$ – среднее значение погрешности при нормальной температуре измеряемой среды от 15 до 25 °С, t_2 , %.

Если дополнительная погрешность расходомеров, вызванная отклонением температуры измеряемой среды от градуировочного значения на каждые 10 °С, не превышает 0,1 абсолютного значения основной допускаемой приведенной погрешности, то расходомеры считают прошедшими испытание.

Определение основной приведенной погрешности беспродливным имитационным методом проводят при проведении первичной поверке при выпуске из производства. При этом первичный преобразователь, заполненный измеряемой средой (дистиллятом) термостатируют в камере тепла и холода, в двух точках- 10 °С и 40 °С.

Для определения стабильности расходомеров при «нулевом» расходе по вольтметру определяются значения выходных сигналов, которые наблюдают по каждому k -выходу каждого i -измерительного канала и фиксируют наименьшее и наибольшее значения напряжений $U_{ik \min}$ и $U_{ik \max}$ соответственно.

Определение основной приведенной погрешности беспродливным методом производится непосредственно после определения стабильности расходомеров при «нулевом» расходе.

Проанализировав операции процесса поверки ультразвуковых расходомеров жидких сред, можно выделить некоторые проблемы в области метрологического обеспечения данного процесса, такие как:

1. Проведение поверки на объекте эксплуатации расходомера достаточно проблематично, так как приборы установлены в труднодоступных местах и зачастую их демонтаж невозможен. Соответственно, из-за этого можно проводить поверку только беспродливным методом на месте эксплуатации расходомера, что накладывает на себя определенные ограничения по времени и срокам проведения поверки.

2. В контуре могут возникнуть завихрения потока воды да то значит, что расходомер не корректно определяет действительный расход, из-за чего некорректно определяются расход и основная приведенная погрешность в данной точке измерения.

3. Влияние человеческого фактора на поверку расходомера: неправильное подключение первичного и/или вторичного преобразователей к поверочному оборудованию и определение основной приведенной погрешности.

4. Длина кабеля, соединяющего первичный и вторичный преобразователи существенно влияет на определение показаний, из-за этого они не взаимозаменяемые и изготавливаются для каждого расходомера индивидуально.

5. Так как процесс поверки может проходить в условиях повышенной температуры, то из-за этого на поверителя действуют некомфортные для проведения поверки условия, что может отразиться на его здоровье (самочувствии).

6. Так как в комплект поставки на расходомер обязательно входит кассета ЗИП (вторичный преобразователь), то при выходе из строя ЗИП кассеты ее отправляют на ремонт с последующей обязательной поверкой всего расходомера в полном объеме.

7. Выходной сигнал расходомера определяется в Вольтах, а для наглядного отображения измеряемого расхода в $\text{м}^3/\text{ч}$ необходимо использовать формулу для перевода в $\text{м}^3/\text{ч}$, что усложняет и увеличивает время проведения поверки.

8. Если в измеряемой среде будут находиться примеси веществ или загрязнения, то расходомер будет считать расход некорректно, так как ему нужна среда, очищенная от посторонних примесей (дистиллированная вода).

9. Оборудование, используемое при поверке, должно находиться в нормальных условиях окружающей среды для эксплуатации, но на объекте это проблематично осуществить, что накладывает определенные ограничения на процесс поверки.

10. Предоставление не комплектного СИ в поверку – отсутствие паспорта, вторичного преобразователя ЗИП и/или основного вторичного преобразователя.

11. Невыполнение персоналом установленных требований ОЕИ, в т.ч. нарушение выполнения требований методик поверки СИ. Для поверки выбраны СИ, погрешность которых не соответствует требованиям на применяемое оборудование для поверки.

12. Невыполнение каких-либо пунктов методики поверки, что является нарушением, так как результаты поверки не будут отражать действительные значения.

После выявления и рассмотрения проблем в области метрологического обеспечения процесса поверки ультразвуковых расходомеров жидких сред, можно выделить следующие задачи для их дальнейшего исследования и решения:

1. Необходимо добавить операцию по определению вариации – для определения устойчивости показаний расходомера при подходе к измеряемой точке расхода от верхнего и нижнего пределов измерений

2. Завихрения потоков среды влияют на определение действительных показаний расходомера. Отсюда возникает задача устранения завихрений в контуре, где установлен первичный преобразователь.

3. Так как в измеряемой среде могут быть различные загрязнения, что отражается на показаниях расходомера, то можно поставить задачу более тщательной очистки измеряемой среды от посторонних примесей и загрязнений.

4. Изменение выходного сигнала с напряжения постоянного тока на цифровой сигнал по интерфейсу RS-485 со специальным протоколом информационного обмена. Это будет влиять на определение действительных показаний расходомера, уменьшая погрешность.

Работа выполнена под руководством к.т.н. доцента Губарева А.В. и старшего преподавателя Губаревой С.В. кафедры ИИБМТ.

Библиографический список

1. РИОУ.407254.004 МИ «Расходомеры жидких сред Свирель-Р. Методика поверки»..
2. Методы и средства измерения количества нефти и газа: учеб. пособие /М.Г. Фазлыяхматов, Л.С. Сабитов, Д.К. Лазарев и др. – Казань: Издательство Казанского университета, 2021. – 256 с.
3. Нубарян С.М. Контрольно-измерительные приборы в теплотехнических измерениях. Курс лекций. – Харьков: ХНАГХ, 2006 – 283 с

УДК 62-05; ГРНТИ 90.27

ОРГАНИЗАЦИЯ ТЕХНИЧЕСКОГО КОНТРОЛЯ КАЧЕСТВА СПОРТИВНОГО ОБОРУДОВАНИЯ

А.Н. Белавина, С.Н. Дьяков

*Рязанский государственный радиотехнический университет имени В.Ф. Уткина,
Российская Федерация, Рязань, belavina9898@mail.ru*

Аннотация. В работе рассматривается организация технического контроля качества спортивного оборудования, в качестве примера используется стандарт организации, а именно глава о методах контроля качества продукции на каждом этапе производства.

Ключевые слова: контроль, качество, организация, оборудование, стандарт, производство.

ORGANIZATION OF TECHNICAL QUALITY CONTROL OF SPORTS EQUIPMENT

A.N. Belavina, S.N. Dyakov

*Ryazan State Radio Engineering University named after V.F. Utkin,
Russia, Ryazan, belavina9898@mail.ru*

The summary. The paper considers the organization of technical quality control of sports equipment, as an example, the organization's standard is used, namely the chapter on methods of product quality control at each stage of production.

Keywords: control, quality, organization, equipment, standard, production.

Невыполнение требований, которые предъявляются к качеству производимой продукции, приводит к повышению издержек производства и потребления. Потому заблаговременное предупреждение возможных нарушений требований к качеству является требуемой предпосылкой для обеспечения необходимого уровня качества продукции при малых затратах на ее производство. Эта задача на предприятии решается с помощью технического контроля.

Технический контроль – это проверка соблюдения технических требований, которые предъявляются к качеству продукции на всех этапах изготовления, а также условий производства и факторов, которые обеспечивают требуемое качество.

Объекты технического контроля – это полуфабрикаты и материалы, которые поставляются на предприятие извне, продукция организации в готовом виде и на всех стадиях производства, техпроцессы и технологическая дисциплина. Технический контроль должен обеспечивать выпуск продукции, которая соответствует требованиям конструкторско-технологической документации, способствующей производству продукции с минимальными затратами средств и времени, предоставлять исходные данные и ресурсы, которые в свою очередь могут быть применены в целях разработки мероприятий по повышению качества продукции и минимизации издержек [2].

По этапам процесса производства различают такие виды контроля как:

– входной контроль осуществляется перед началом обработки для предупреждения дефектов и брака, которые могут возникать по причине недоброкачественных поступающих

материалов, полуфабрикатов и своевременного исключения дефектных изделий и заготовок из производства;

– операционный контроль проводится в процессе обработки изделий для проверки качества выполнения операций, выявления и изъятия брака на ранних сроках производства, исключения дефектов. Может проводиться после каждой операции или после серии операций в зависимости от необходимого качества изделий и характера техпроцесса. Данный вид контроля производит исполнитель операции, контролер, мастер ОТК (БЦК). Иногда операционный контроль может выполнять представитель заказчика;

– приемочный контроль выполняется в завершении процесса изготовления деталей, изделий, сборочных единиц для определения, соответствует ли качество требованиям, которые установлены в нормативно-технической документации. Также осуществляется контроль упаковки, комплектности и др. Этот контроль распространяется на всю продукцию, которую завершили обрабатывать в данном цехе перед передачей ее в следующий цех или прямо на склад. Приемочный контроль предотвращает отправку некачественной продукции потребителю. Он производится контролером, мастером ОТК, а иногда и представителем заказчика. В зависимости от вида продукции возможно проведение соответствующих испытаний [3].

В качестве примера приведем главу 7 стандарта Ts 23592184–01:2022 о методах контроля качества продукции на каждом этапе производства (нумерация согласно стандарту):

7.1 Габаритные и функциональные размеры проверяют универсальными измерительными инструментами: измерительной рулеткой 3 класса точности по ГОСТ 7502, штангенциркулем по ГОСТ 166-89 или другим мерительным инструментом, обеспечивающим точность измерения до 1 мм [3].

7.2 Массу контролируют взвешиванием на весах по ГОСТ 29329.

7.3 Внешний вид, контролируется визуальным осмотром изделия на соответствие технической документации и/или сравнением с образцами.

7.4 Контроль сварочных соединений должен проводиться по ГОСТ 3242-79 [4].

7.5 Контроль требований надёжности силового оборудования для ОФП проводят путём сбора информации и обработки данных, полученных в условиях эксплуатации изделий.

7.6 Испытания на статическую нагрузку проводят путём создания распределённой нагрузки с усилием 2000 ± 10 N kg на сидение или лежак в течение 10 min.

Изделие считают выдержавшим испытание, если после снятия нагрузки отсутствуют следы остаточной деформации.

7.7 Рычажная система подвергается контролю путём статического нагружения утяжеляющими элементами с повышающим коэффициентом 1,8 по отношению к максимальной (паспортной) нагрузке.

Рычаг приводится в положение, когда ось подшипникового опорного узла будет на одной горизонтали с осью крепления утяжеляющих элементов. В этом положении рычаг закрепляется и выдерживается в течении 60 минут.

Рычажная система считается прошедшей испытание, если остаточная деформация рычага между его крайними точками, после снятия нагрузки, отсутствует.

7.8 В блочно-тросовой системе силового оборудования для ОФП основной метод контроля – проверка правильности выбора троса.

В среднем положении стека утяжеляющих элементов на направляющих рабочий элемент фиксируется, на стеке создаётся дополнительная нагрузка с повышающим коэффициентом 1,5 от максимальной (паспортной) нагрузки. В этом положении блочно-тросовая система должна находиться в течении 60 минут.

Выбор троса считается правильным, если остаточное удлинение троса, после снятия нагрузки не превышает 2%.

7.9 Проверка на устойчивость (сопротивление опрокидыванию).

7.9.1 Проверке на устойчивость к опрокидыванию подвергается оборудование на свободных грузах, исполнение которых предусматривает свободностоящее положение.

7.9.2 Для проверки устойчивости конструкции, силовое оборудование для ОФП выставляют на ровную поверхность, исключаящую возможность раскачивания и закрепляют в соответствии с требованиями 4.3.3 настоящих Тс.

7.9.3 Для проверки продольной устойчивости по горизонтальной оси основания наибольшего значения, прикладывается возрастающая по величине нагрузка. Устойчивость считается нарушенной в момент отрыва опоры от опорной поверхности со стороны противоположной вектору нагрузки.

7.9.4 Точка приложения нагрузки – места сидения, но не ближе 1000 mm от плоскости опоры.

7.9.5 Испытания на продольную устойчивость считаются удовлетворительными, если величина нагрузки равна или более 1000 N.

7.9.6 Для проверки поперечной устойчивости по горизонтальной оси основания наименьшего значения прикладывается возрастающая по величине нагрузка. Устойчивость считается нарушенной в момент отрыва опоры от опорной поверхности со стороны противоположной вектору нагрузки.

7.9.7 Точка приложения нагрузки – места сидения, но не ближе 1000 mm от плоскости опоры.

7.9.8 Испытания на поперечную устойчивость считаются удовлетворительными, если величина нагрузки равна или более 800 N.

7.10 Проверку комплектности, маркировки и упаковки проверяют визуально.

7.11 Резьбовые соединения контролируют резьбовыми калибрами по ГОСТ 2016.

7.12 Качество покрытий силового оборудования 4.3.9 настоящего Тс определяется по ГОСТ 9.302 внешним осмотром наружных поверхностей изделий, на расстоянии 250 mm от контролируемой поверхности, невооружённым глазом, при естественном освещении [1], [4].

Библиографический список

1. ТС 23592184–01:2022 Стандарт организации. Оборудование для силовой и общефизической подготовки.
2. Маслов Д.В. - Управление качеством на малом предприятии / Д.В. Маслов. – М.: ДМК Пресс. 2014. – 191 с.
3. Шемятихина Л.Ю. - Менеджмент малого предпринимательства. Учебное пособие / Л.Ю. Шемятихина, К.С. Шипицына, М.Г. Синякова. – М.: Лань, 2017. – 500 с.
4. ГОСТ 9.302 Единая система защиты от коррозии и старения. Покрытия металлические и неметаллические неорганические.

УДК 006.056; ГРНТИ 84.15.19

ПОРЯДОК РАЗРАБОТКИ СТАНДАРТА ОРГАНИЗАЦИИ

В.М. Храмцова

*Рязанский государственный радиотехнический университет имени В.Ф. Уткина,
Российская Федерация, Рязань*

Аннотация. В статье проанализирована последовательность разработки стандарта организации. Рассмотрены особенности процесса на каждом этапе.

Ключевые слова: стандарт организации, проект, разработка, утверждение.

THE PROCEDURE FOR DEVELOPING AN ORGANIZATION'S STANDARD

V.M. Khramtsova

*Ryazan State Radio Engineering University named after V.F. Utkin,
Russia, Ryazan*

The summary. The article analyzes the sequence of development of the organization's standard. The features of the process at each stage are considered.

Keywords: organization standard, project, development, approval.

Введение

Разработка стандарта организации (СТО) проводится на основе плана стандартизации и унификации организации, утвержденного руководством организации. В обоснованных случаях по указанию руководства организации и по согласованию с начальником службы качества разрешается внеплановая разработка СТО.

Разработку СТО должны проводить наиболее квалифицированные специалисты: конструктора, технологи, экономисты, инженеры СМК и т.д., обладающие требуемой компетентностью в соответствующей области.

Подразделение-разработчик направляет на согласование проект СТО заинтересованным подразделениям (в том числе подразделениям, непосредственно задействованным в данном СТО).

Порядок разработки СТО непосредственно зависит от одного из 2-х вариантов, которые организация вправе выбрать сама:

- с привлечением специализированной организации;
- собственными силами, при наличии компетентных специалистов в этой области.

Первый вариант разработки СТО

Первый вариант предполагает привлечение для разработки СТО сотрудников специализированной компании. Для этого составляется заявка от организации на разработку СТО, на ее основе осуществляется первичная консультация, при которой экспертом определяется объем предполагаемой работы и устанавливаются сроки её выполнения.

Работа в этом случае включает ряд этапов:

1 Составление технического задания. В нем указываются все стадии разработки стандарта, перечень актуальных требований и норм, а также сфера его использования

2 Написание проекта стандарта. Результатом этого этапа является первая редакция СТО, она проверяется на наличие противоречий законодательству РФ и международным нормам, а также на этом этапе корректируется. Срок рассмотрения проекта СТО и представления отзывов заинтересованными подразделениями (в том числе подразделениями, непосредственно задействованными в данном СТО) подразделению-разработчику не должен превышать пяти рабочих дней.

3 Согласование с заказчиком.

4 Внесение изменений (выполняется при необходимости).

5 Экспертиза проекта. Проводится для подтверждения соответствия стандарта действующим техническим регламентам и законодательным нормам. Подразделение-разработчик дорабатывает окончательную редакцию СТО. Окончательная редакция СТО должна быть согласована с теми же подразделениями, что и проект стандарта.

6 Утверждение стандарта. Осуществляется при положительном результате экспертизы проекта. Утверждение проводится в виде личной подписи руководителя организации или издания организационно-распорядительного документа. СТО, относящийся к СМК, должен быть обязательно согласован с начальником службы качества.

СТО утверждает генеральный директор.

7 Регистрация стандарта. Выполняется на основе разработанных в организации отдельных правил для процедуры регистрации утвержденных стандартов. Чаще всего устанавливается ответственный за регистрацию, который ведет журнал регистрации стандартов организации. СТО вводится в действие приказом генерального директора, который подготавливает подразделение-разработчик стандарта. В приказе устанавливается дата введения в действие СТО. К приказу должны прилагаться окончательная редакция СТО, расцеховка СТО подразделениям организации с указанием экземпляра конструктора и рабочих экземпляров.

Копия приказа направляется во все заинтересованные подразделения организации, в том числе обязательно в бюро стандартизации и нормоконтроля службы качества и отдел технической документации (ОТД).

Второй вариант разработки СТО

Использование второго варианта разработки стандарта более является более трудоемко, но более действенно для организации. Работа в этом случае включает ряд этапов:

1 Решение о разработке стандарта в рамках программы стандартизации. Создается рабочей группой. Прорабатываются ключевые положения технического задания и план работы по разработке стандарта.

2 Разработка и утверждение технического задания. Техническое задание является основным документом при разработке СТО и содержит:

- обоснование целесообразности разработки стандарта;
- характеристику объекта стандартизации;
- информацию о разработчиках;
- список всех заинтересованных сторон для обсуждения проекта стандарта.

3 Сбор информации об объекте стандартизации. Предполагает поиск во внешней и внутренней документации, а также использование результатов экспертиз и испытаний.

4 Разработка проекта стандарта.

5 Обсуждение и доработка проекта стандарта. Проект стандарта рабочей группой рассылается всем заинтересованным сторонам с сопроводительным документом, в котором указывается срок рассмотрения проекта и дата и время для проведения совещания для обсуждения.

6 Разработка окончательной редакции проекта. Осуществляется на основании решения совещания. Готовится проект приказа об утверждении стандарта.

7 Экспертиза стандарта. Её результатом является получение заключения, на его основании составляют мотивированное предложение для утверждения или отклонения стандарта.

8 Согласование стандарта. Производится со всеми заинтересованными лицами и вносятся итоговые поправки.

9 Утверждение СТО. Предполагается, что руководитель организации принимает решение об утверждении или отклонении стандарта.

Подготовка СТО к внедрению

Все СТО подлежат постановке на учет в ОТД: вновь введенные СТО – по приказам о введении в действие, замена ранее поставленных СТО на учет – по извещениям об изменении. При этом все подписи в СТО должны быть подлинными и проставлены черными чернилами.

Ответственность за содержание СТО и за соответствие показателей, норм и требований современному уровню развития науки и техники и НД несут подразделения, разработавшие СТО, и руководство организации, согласовавшее и утвердившее СТО.

Ответственность за учет, хранение и корректировку подлинников СТО, рассылку их копий и копий извещений об изменении СТО, своевременное изъятие замененных (отмененных) по извещениям об изменении СТО возлагается на ОТД.

Ответственность за своевременное предоставление ОТД вновь введенных, заменённых, отмененных СТО, копий рабочих экземпляров СТО для корректировки возлагается на руководителей подразделений.

При любом варианте разработки стандарта его проект перед утверждением при необходимости может представляться в соответствующий технический комитет по стандартизации для проведения экспертизы.

Экспертиза проводится чаще всего перед утверждением стандарта на продукцию или услуги, поставляемых на внутренний или внешний рынок. По результатам экспертизы готовятся заключения, содержания которых зависит от направления экспертизы. Экспертиза может проводиться организацией самостоятельно, если сеть специализированные специалисты. При положительных результатах руководитель принимает решение об утверждении стандарта.

СТО, как правило, не ограничиваются по срокам действия, но иногда такое ограничение устанавливается.

Внедрение и эксплуатация СТО

Заключительной стадией является процесс внедрения СТО – реализация мероприятий, направленных на соблюдение утвержденных требований на всех стадиях жизненного цикла продукции, начиная от его проектирования и заканчивая перевозкой и хранением.

Для поддержания в актуальном состоянии СТО подразделение- разработчик по мере необходимости обеспечивает его актуализацию.

СТО должны переиздаваться один раз в пятнадцать лет.

Полная проверка СТО и его актуализация должны обязательно проводиться подразделением-разработчиком на основании плана стандартизации и унификации один раз в три года. При этом на титульном листе СТО в правый нижний угол вносится следующая запись: «Проверен в ...году».

Актуализация СТО осуществляется путем внесения изменений или его переработки.

В случае, если изменяется более 60 % содержания стандарта, то СТО подлежит переработке. Обозначение переработанного СТО остается прежним, изменению подлежит только год его утверждения.

При проверке СТО в соответствии необходимо учесть следующие моменты:

- указания руководства организации;
- изменения в НД и их актуальность;
- изменения организационной структуры организации;
- необходимость исправления ошибок, опечаток;
- замечания по результатам внешних и внутренних аудитов организации;
- предложения от структурных подразделений.

Ответственность за своевременный пересмотр, переработку и изменение СТО несут руководители подразделений-разработчиков.

Работа выполнена под руководством к.т.н., доцента Губарева А.В. и старшего преподавателя Губаревой С.В. кафедры ИИБМТ.

Библиографический список

1. Губарев А.В., Кисс О.Э. Проблема морального износа стандартов качества // Современные тенденции в образовании и науке. сборник научных трудов по материалам Международной научно-практической конференции: в 14 частях. 2014. С. 43-45.
2. Губарев А.В., Рубцова А.А. Требования стандартов к управлению рисками// КАЧЕСТВО ПРОДУКЦИИ: КОНТРОЛЬ, УПРАВЛЕНИЕ, ПОВЫШЕНИЕ, ПЛАНИРОВАНИЕ. Сборник научных трудов 9-й Международной молодежной научно-практической конференции. Курск, 2022. С. 46-49.

СОДЕРЖАНИЕ

ИНФОРМАЦИЯ О VI МЕЖДУНАРОДНОМ ФОРУМЕ «СОВРЕМЕННЫЕ ТЕХНОЛОГИИ В НАУКЕ И ОБРАЗОВАНИИ» СТНО-2023».....	3
МЕЖДУНАРОДНАЯ НАУЧНО-ТЕХНИЧЕСКАЯ КОНФЕРЕНЦИЯ «СОВРЕМЕННЫЕ ТЕХНОЛОГИИ В НАУКЕ И ОБРАЗОВАНИИ. ВЫЧИСЛИТЕЛЬНАЯ ТЕХНИКА И АВТОМАТИЗИРОВАННЫЕ СИСТЕМЫ».....	6
Секция «ГЕОИНФОРМАЦИОННЫЕ И КОСМИЧЕСКИЕ ТЕХНОЛОГИИ».....	6
Куликов Н.В. Применение методов аппроксимации для уточнения оценки на разработку программного обеспечения.....	6
Васильев Е.П., Нгуен Д.Х. Анализ САПР радиоэлектронных средств. Особенности и критерии оценки.....	10
Таганов А.И. Оптимизация процедуры ранжирования рисков качества программного проекта по критерию важности.....	15
Таганов А.И., Кокунов А.А. Алгоритмическое обеспечение процедуры оценки интегрального риска качества проекта программных средств в условиях нечеткости.....	19
Кокунов А.А., Таганов А.И. Модельное представление типовых структур алгоритмических процессов информационных систем для задач оценки надежности и оптимизации.....	24
Таганов А.И., Цыцына М.И. Алгоритмическое обеспечение процесса анализа рисков качества проекта программных средств в условиях нечеткости.....	29
Цыцына М.И., Таганов А.И. Разработка средств автоматической классификации рисков качества программного проекта методами нечеткой кластеризации.....	35
Щенёв Е.С. Анализ сверточных нейронных сетей для задачи распознавания объектов на космических изображениях.....	42
Антонушкина С.Д., Князьков П.А. Разработка программы статистической обработки и визуализации данных для поиска плоскости наилучшего изображения КА ДЗЗ.....	46
Васильев Е.П., Лыу Тхань Дат Синтез эллиптических полосовых фильтров систем связи.....	50
Поборуева М.С., Бодров О.А. Выбор структуры полосового фильтра на основе анализа спектра сигнала в системах передачи информации с FDMA.....	53
Кочетков А.В., Чесноков Р.А. Создание сверхгидрофобных покрытий методом плазменного напыления.....	58

Аксенов А.А. Вопросы построения распределенных информационных систем для обработки аэрокосмических данных.....	63
Егошкин Н.А., Москвитин А.Э., Соловьев А.В. Особенности авторского надзора программного обеспечения обработки данных КА «Арктика-М»	65
Васильев Е.П., Климчук Н.В. EM-моделирование и исследование функциональных устройств в системе SONNET LITE.....	71
Секция «АВТОМАТИЗАЦИЯ ПРОИЗВОДСТВЕННО-ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ ПРОЦЕССОВ В ПРИБОРО- И МАШИНОСТРОЕНИИ».....	76
Ермоленко С.А. Анализ проблем современных технологий автоматизированного управления работой термоупругих прессов.....	76
Романов И.Н., Ленков М.В. Метод синтеза нечеткого ПИД регулятора с помощью искусственной нейронной сети.....	81
Дерябин А.И., Ленков М.В. Автоматизированный комплекс измерения диэлектрических свойств кабельной продукции.....	88
Сырцов А.С., Ленков М.В., Сёмина С.С. Автоматизированная система идентификации и контроля психоэмоционального состояния человека.....	92
Сухарев Е.В., Сосулин Ю.А. Анализ чувствительности бизнес-планов инвестиционных проектов.....	97
Ястребцев Н.О., Сосулин Ю.А. Построение точных D-оптимальных экспериментальных планов.....	100
Смирнова С.А. Гибридная система адаптивно-робастного управления многорежимным параметрически и структурно неопределенным объектом.....	105
Белоусов Д.В., Грибов Н.В., Миловзоров О.В. Определение необходимой точности механизмов станка с ЧПУ для плазменной резки.....	113
Ермищев А.О., Климов Д.С., Романов И.Н., Ленков М.В. Применение аддитивных технологий при изготовлении ортезов ОТМ.....	116
Грибов Н.В., Миловзоров О.В. К вопросу о выборе диаметра вращающегося инструмента.....	120
Волобуев В.Д., Миловзоров О.В. Разработка мини-САПР создания 3D моделей конструктивно-подобных корпусных деталей.....	124
Семина С.С., Ржепик Д.Е. Математическая модель описания алгоритма управления автоматизированной СКУД на основе анализа биометрических данных.....	127

Урускин Н.Е. Технология разработки автоматизированного аппаратного средства для изучения основных режимов работы радиоэлектронных компонентов.....	132
Миловзоров О.В., Грибов Н.В., Мосина А.М. Использование систем 3D-моделирования для разработки унифицированных моделей деталей.....	136
Меркулов Ю.А., Ленков М.В., Беев А.П. Использование иерархической модели в процессе определения эффективности транспортной системы густонаселенной территории.....	144
Меркулов Ю.А., Ленков М.В. Разработка прикладной модели эффективности городской транспортной системы.....	148
Секция «ИНФОРМАЦИОННО-ИЗМЕРИТЕЛЬНЫЕ УСТРОЙСТВА И СИСТЕМЫ В ТЕХНИКЕ И МЕДИЦИНЕ».....	158
Абрамов А.М. Метод смещенной гистограммы при метрологических испытаниях параллельных АЦП.....	158
Абрамов А.М. Метод масштабно смещенной гистограммы при метрологических испытаниях параллельных АЦП.....	161
Аникина О.В., Гуржин С.Г., Шуляков А.В. Оперативное оценивание уровня стресса пациента в магнитотерапии на основе вариационной пульсометрии.....	165
Самолин С.О. Определение места для парковки с помощью ультразвукового датчика в автомобильной системе помощи при парковке.....	170
Дмитревский И.Д., Мельник О.В. Поздние латентные слуховые вызванные потенциалы.....	175
Будылина П.С., Лукша С.С. Получение данных о положении верхних конечностей человека для анализа электромиографического сигнала.....	178
Зинин И.А. Система стереозрения в реальном времени на ПЛИС.....	187
Николаев А.В., Мельник О.В. Подготовка входных данных для информационной системы прогнозирования сердечно-сосудистых заболеваний.....	190
Секция «СТАНДАРТИЗАЦИЯ И УПРАВЛЕНИЕ КАЧЕСТВОМ».....	194
Белов В.В., Смирнов М.А. Использование элементов инновационного проекта для повышения качества высшего технического образования.....	194
Губарев А.В., Губарева С.В. Анализ потерь в образовательной деятельности.....	198

Миронова А.И. Выявление проблем в области метрологического обеспечения процесса поверки ультразвуковых расходомеров жидких сред.....	201
Белавина А.Н., Дьяков С.Н. Организация технического контроля качества спортивного оборудования.....	205
Храмцова В.М. Порядок разработки стандарта организации.....	208

СОВРЕМЕННЫЕ ТЕХНОЛОГИИ В НАУКЕ И ОБРАЗОВАНИИ**Научное издание****В 10 томах****Том 6**

Под общей редакцией О.В. Миловзорова.

Подписано в печать 15.06.23. Формат 60x84 1/8.

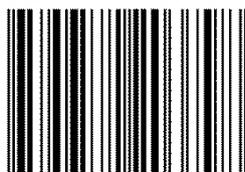
Бумага офсетная. Печать офсетная.

Гарнитура «Times New Roman».

Усл. печ. л.

Тираж 100 экз. Заказ №.

ISBN 978-5-7722-0379-8



9 785772 203798

Рязанский государственный радиотехнический университет,
Редакционно-издательский центр РГРТУ,
390005, г. Рязань, ул. Гагарина, д. 59/1.