

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-2022

**V МЕЖДУНАРОДНЫЙ НАУЧНО-
ТЕХНИЧЕСКИЙ ФОРУМ**

Сборник трудов

Том 6

Рязань
Book Jet
2022

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

Современные технологии в науке и образовании – СТНО-2022 [текст]: сб. тр. V международн. науч.-техн. форума: в 10 т. Т.6./ под общ. ред. О.В. Миловзорова. – Рязань: Рязан. гос. радиотехн. ун-т, 2022.

ISBN 978-5-7722-0350-7

Т.1: – 242 с.,: ил.

ISBN 978-5-7722-0356-9

Сборник включает труды участников V Международного научно-технического форума «Современные технологии в науке и образовании» СТНО-2022.

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 978-5-7722-0350-7

ISBN 978-5-7722-0356-9

© Рязанский государственный
радиотехнический университет, 2022

ИНФОРМАЦИЯ О V МЕЖДУНАРОДНОМ ФОРУМЕ «СОВРЕМЕННЫЕ ТЕХНОЛОГИИ В НАУКЕ И ОБРАЗОВАНИИ» СТНО-2022

V Международный научно-технический форум «Современные технологии в науке и образовании» СТНО-2022 состоялся 02.03.2022-04.03.2022 в г. Рязань в Рязанском государственном радиотехническом университете имени В.Ф. Уткина.

В рамках форума «Современные технологии в науке и образовании» СТНО-2022 состоялась работа четырех Международных научно-технических конференций:

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

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

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

- Алгоритмическое и программное обеспечение вычислительных систем и сетей;
- ЭВМ и системы;
- Системы автоматизированного проектирования;
- Информационные системы и защита информации;
- Математические методы в научных исследованиях;
- Обработка 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;
- Управление персоналом;
- 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;

Бабаян П.В., проректор по учебной работе и информатизации, к.т.н., доц. – зам. председателя;

Миловзоров О.В., зам. начальника управления организации научных исследований, к.т.н, доц. – координатор;

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:

Алпатов Б.А., профессор кафедры автоматике и информационных технологий в управлении, д.т.н., проф.;

Богачева О.А., доцент кафедры "Государственное, муниципальное и корпоративное управление", к.полит.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.;

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

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.;

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.;

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.;

Меркулов Юрий Аркадьевич, ст. преподаватель кафедры "Государственное, муниципальное и корпоративное управление";

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.;

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.;

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

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

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

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..

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

**СЕКЦИЯ «ГЕОИНФОРМАЦИОННЫЕ И КОСМИЧЕСКИЕ
ТЕХНОЛОГИИ»**

УДК 004.932; ГРНТИ 28.23.15

**КОМПЛЕКСИРОВАНИЕ ИЗОБРАЖЕНИЙ,
ПОЛУЧЕННЫХ ПРИ СЪЕМКЕ ЗЕМЛИ В ВИДИМОМ
И РАДИОЛОКАЦИОННОМ ДИАПАЗОНАХ СПЕКТРА**

В.А. Еремеев, А.Э. Москвитин, В.А. Ушенкин

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

Аннотация. Рассматривается алгоритм комплексирования изображений видимого и радиолокационного диапазонов спектра, учитывающий специфичные искажения на радиолокационных видеоданных.

Ключевые слова: дистанционное зондирование Земли, комплексирование, видимый диапазон спектра, радиолокационный диапазон.

**IMAGE AGGREGATION,
OBTAINED WHEN SHOOTING THE EARTH IN VISIBLE
AND RADAR SPECTRUM RANGES**

V.A. Eremeev, A.E. Moskvitin, V.A. Uchenkin

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

The summary. An algorithm for combining images of the visible and radar ranges of the spectrum, taking into account specific distortions on the radar video data, is considered.

Keywords: remote sensing of the Earth, aggregation, visible range of the spectrum, radar range.

Радиолокационное наблюдение из космоса позволяет вести всепогодную съемку поверхности Земли независимо от времени года и суток. Однако радиолокационные изображения (РЛИ) крайне специфичны и трудны для восприятия человеческим зрением, настроенным на наблюдение сцены в видимом диапазоне спектра [1,2,3,4]. Поэтому актуальна задача представления радиолокационной информации в более привычном для человека виде с использованием изображений от систем оптико-электронной съемки. Оптические снимки могут быть менее детальными или полученными на существенно более раннюю дату, в то же время наиболее точная и актуальная информация о наблюдаемой сцене может быть представлена на радиолокационном изображении. Ниже рассматривается алгоритм комплексирования радиолокационного и оптического изображений [5,6], основанный на выделении наиболее ярких объектов на радиолокационном изображении и их объединении с низкочастотной составляющей оптического снимка.

Комплексирование разнородной видеoinформации

Цель комплексирования - это отобразить яркие радиолокационные отклики на привычном для человека оптическом фоне, что позволяет более легко распознавать и дешифровать объекты на фоне наблюдаемой сцены. Процесс выделения объектов на радиолокационном снимке базируется на следующем предположении: наиболее важные объекты, слабо

различимые на оптическом изображении и хорошо видимые на РЛИ, имеют яркость, существенно превышающую яркость окружающего фона, и малую площадь. К таким объектам относятся столбы, заборы, дорожные ограждения, военная техника, самолеты, корабли и т.п. Геометрическая форма этих объектов в сочетании с подстилающей поверхностью, отображенной в видимом диапазоне, обеспечивает значительное количество прямых углов, выступающих как уголки отражатели, что приводит к инверсии яркости радиолокационных данных по отношению к яркости оптической информации. Например, металлические объекты, отличающиеся высоким коэффициентом диэлектрической проницаемости, отображаются на радиолокационном изображении более контрастно по сравнению с оптическим. В тоже время малая площадь таких объектов часто становится причиной их слабой различимости на оптическом снимке того же пространственного разрешения, что и радиолокационный снимок.

Пусть: $B(m, n)$ – панхроматический или спектрзональный, или гиперспектральный снимок, адекватно согласующийся с восприятием человеческим зрением; $R(m, n)$ – радиолокационный снимок, представленный в той же системе координат (m, n) . Представим $R(m, n)$ в виде низко- и высокочастотных компонент: $R_H(m, n)$, $R_B(m, n)$: $R(m, n) = R_H(m, n) + R_B(m, n)$. Повышенного внимания заслуживает $R_B(m, n)$. Для выделения $R_H(m, n)$ размер «окна» фильтра разумно выбрать в несколько раз больше, чем корень квадратный из максимальной площади представляющих интерес важных объектов наблюдаемой сцены. С учетом этого $R_B(m, n)$ будет нести информацию о значительном превышении радиолокационного эхосигнала от окружающего фона. Поэтому будем считать, что пиксель (m, n) РЛИ относится к важному для анализа объекту, если $R_B(m, n) \geq \kappa_a R_H(m, n)$, где κ_a – параметр алгоритма, подбираемый эмпирически на основе анализа материалов съемки Земли.

Процесс комплексирования как формирование результирующего изображения $D(m, n)$ на основе объединения $B(m, n)$ и $R(m, n)$ определяется как

$$D(m, n) = \begin{cases} B(m, n), & R_B(m, n) < \kappa_a R_H(m, n), \\ B(m, n) + \frac{R_B(m, n)B_H(m, n)}{(1 + \kappa_a)R_H(m, n)}, & R_B(m, n) \geq \kappa_a R_H(m, n). \end{cases}$$

Физический смысл этого выражения состоит в том, что при комплексировании $B(m, n)$ и $R(m, n)$ формируется $D(m, n)$, в котором на оптическую подложку от $B(m, n)$ добавляются нормированные данные от $R(m, n)$. Процедура нормировки осуществляется на основе сопоставления $B_H(m, n)$ с максимальной яркостью $R_H(m, n)$, т.е. $\max_{(m,n)} (1 + \kappa_a)R_H(m, n)$.

Результат комплексирования $D(m, n)$ по сути представляет собой оптическую подложку, на которую нанесены яркие белые точки, пятна и линии, соответствующие важным объектам, выделенным на радиолокационном изображении: столбам, заборам, военной технике и т.п.

Повышение эффективности комплексирования радиолокационных данных

Радиолокационное изображение в исходной антенной геометрии «дальность–азимут» содержит значительное количество внутрикадровых геометрических искажений, вызванных боковым обзором и перепадами высот объектов наблюдаемой сцены [3]. Поэтому перед комплексированием необходимо выполнить ортотрансформацию радиолокационного изображения в одну из стандартных картографических проекций с привлечением опорной информации о трехмерной структуре наблюдаемой сцены в виде цифровой модели рельефа. Эффек-

тивная организация массовых координатных преобразований при ортотрансформации радиолокационных изображений рассмотрена в [7], когда комплексированные радиолокационный и оптический снимки представлены в одной и той же картографической проекции с минимумом остаточных внутрикадровых искажений. В этом случае для геометрического совмещения оказывается достаточно плоскопараллельного сдвига и масштабирования.

Помимо геометрических, на радиолокационном изображении наблюдаются значительные радиометрические искажения, основным источником которых является спекл-шум, вызванный когерентным характером радиолокационной съемки и явлением интерференции. Наличие спекл-шума приводит к тому, что наиболее яркие спеклы ошибочно принимаются за важные объекты и переносятся на оптическую подложку при комплексировании.

Для фильтрации спекл-шума на радиолокационном изображении разработано множество алгоритмов, основным недостатком которых является снижение пространственного разрешения. Особенно это характерно для неадаптивной фильтрации одним из стандартных фильтров: скользящим средним, медианой, фильтром Гаусса и др. В меньшей степени данный недостаток характерен для алгоритмов адаптивной фильтрации: Ли [8], Фроста [9] и др. Поэтому наиболее перспективны алгоритмы фильтрации спекл-шума, основанные на анализе мультитременной серии радиолокационных изображений одной местности, снятых с близких, но несколько отличающихся ракурсов. В этом случае достигается высокое разрешение результата фильтрации. Рассмотрим алгоритм мультитременной фильтрации спекл-шума, основанный на двух априорно известных положениях:

- 1) в спектре спекл-шума преобладают высокие частоты;
- 2) спекл-шум является мультипликативным.

В соответствии с первым положением выделим из сигнала $R(m, n)$ низкочастотную составляющую, в которой спекл-шум проявляется уже слабо. Таким образом, $R_H(m, n)$ будем считать незашумленным полезным сигналом со сниженным пространственным разрешением. Тогда $R_B(m, n)$ будет содержать высокочастотную составляющую полезного сигнала и спекл-шум. Ракурсы, с которых сняты разновременные изображения, несколько отличаются, поэтому пространственное расположение спеклов на них будет разным. В то же время, поскольку ракурсы всё же достаточно близки, полезный сигнал при отсутствии временных изменений на всех изображениях будет примерно одинаковым. Таким образом, при усреднении высокочастотных составляющих разновременных изображений уровень полезного сигнала практически не изменяется, а уровень спекл-шума снижается.

Учитывая, что относительная амплитуда принимаемых радиолокационных сигналов и сопутствующий им спекл-шум носит мультипликативный характер, можно повысить точность оценки $R_B(m, n)$ путем усреднения по серии РЛИ $\{ R_{BS}(m, n); s = \overline{1, S} \}$:

$$\overline{R_B}(m, n) = \frac{1}{S} \left(R_{Bl}(m, n) + \sum_{\substack{s=1, \\ s \neq l}}^S R_{BS}(m, n) \frac{R_B(m, n)}{R_{BS}(m, n)} \right),$$

где $R_{Bl}(m, n)$ – высокочастотная компонента базового l -го РЛИ.

Однако при изменениях местности полезный сигнал на разновременных изображениях может отличаться. Поэтому учтем второе положение, а также то, что относительная яркость РЛИ практически не содержит смещения начального уровня и прямо пропорциональна мощности принятого сигнала.

Низкочастотная составляющая скомплексированного изображения определяется как $R_{Bl}(m, n)$, т.е. берется с базового l -го РЛИ. В итоге результат комплексирования определяется как

$$D(m, n) = R_{Hl}(m, n) + \bar{R}_B(m, n).$$

Выделение низкочастотной составляющей также может быть вычислительно эффективно с помощью фильтра скользящего среднего.

$$D(m, n) = \frac{1}{S} \left(R_l(m, n) + \sum_{\substack{s=1, \\ s \neq l}}^S R_s(m, n) \frac{R_{Hl}(m, n)}{R_{HS}(m, n)} \right).$$

Для корректной работы предложенного алгоритма разновременной фильтрации необходима субпиксельная точность геометрического совмещения мультिवременных радиолокационных изображений. Учитывая, что на геодезическую привязку радиолокационного снимка влияет лишь орбитальное движение космического аппарата, а ошибки угловой ориентации мало влияют, на практике оказывается достаточным совмещение с помощью аппроксимирующих решеток, узлы которых вычислены по строгой геометрической модели радиолокационной съемки, а корреляционно-экстремальное совмещение не требуется. В особенности это справедливо, когда используются технологии восстановления высокоточной орбиты космического аппарата, основанные на наземной постобработке радионавигационных параметров.

Экспериментальные исследования алгоритмов комплексирования и подавления спекл-шума выполнялись на натурной радиолокационной информации от зарубежных космических аппаратов «RadarSat-2», «TerraSAR-X», «COSMO-SkyMed» и «Sentinel-1». В качестве исходных оптических снимков для комплексирования использовались данные сервиса Google Maps.

На рисунке 1 представлен пример подавления спекл-шума для двух мультिवременных снимков одной местности (окрестности г. Финикс, США) от КА «RadarSat-2» при наличии временных изменений. Верхний снимок приходится на начало мая, средний – на конец. За это время часть полей оказалась перепахана и засажена. Несмотря на временные изменения, подавление спекл-шума прошло успешно (рис. 1, правый снимок) с эквивалентным числом некогерентных накоплений, равным двум.

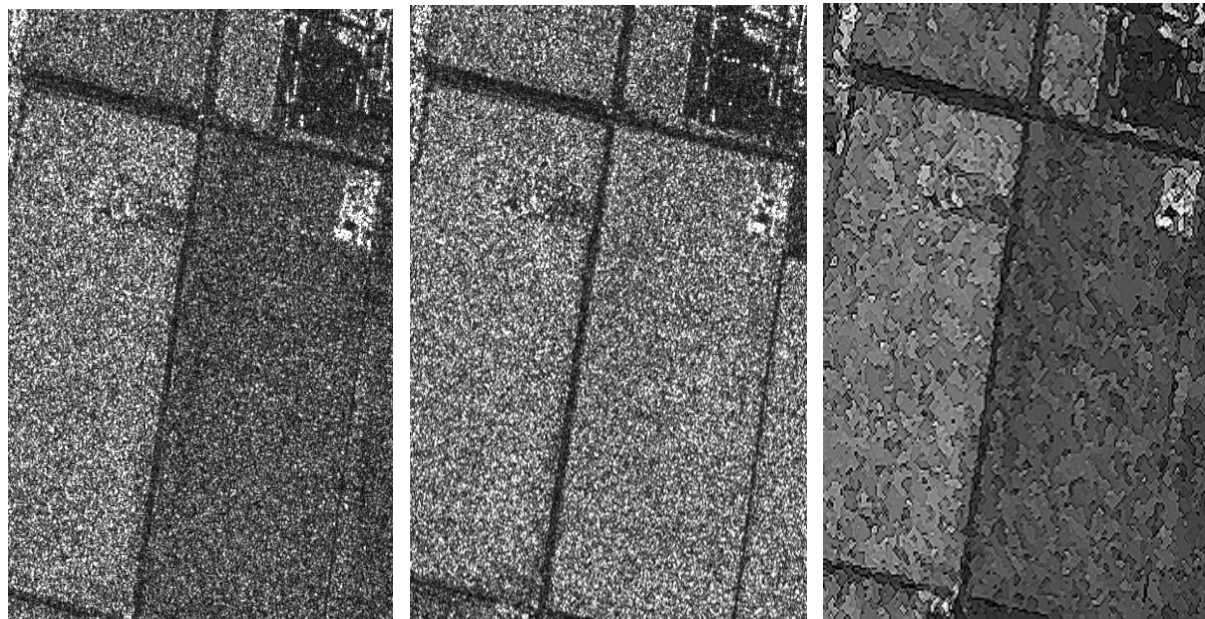


Рис. 1. Результат подавления спекл-шума на РЛИ:
слева и в центре – исходные разновременные РЛИ; справа – результат

На рисунке 2 приведен пример работы алгоритма комплексирования, переносящего важные объекты с радиолокационного изображения на оптическую подложку. Видно, что столбы и дорожные ограждения перенеслись на оптическое изображение, дополнив его новой информацией.

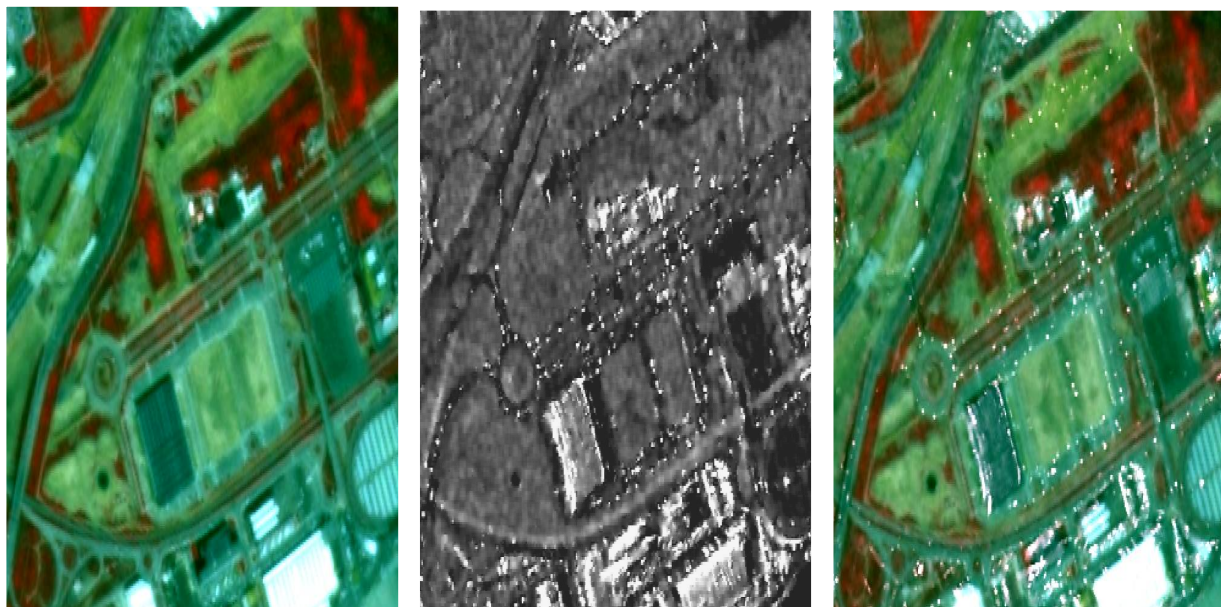


Рис. 2. Комплексирование оптического изображения (слева) и РЛИ (в центре)

Заключение

Выполненные экспериментальные исследования подтвердили повышение информативности результатов комплексирования по сравнению с каждым из исходных изображений в отдельности, а также снижение уровня спекл-шума с сохранением пространственного раз-

решения при мультитременной фильтрации радиолокационных изображений в ходе их подготовки к комплексованию с оптическими снимками.

Библиографический список

1. Современные технологии обработки данных дистанционного зондирования Земли / под ред. В.В. Еремеева. М.: ФИЗМАТЛИТ, 2015. 460 с.
2. Повышение информативности космических изображений Земли / под ред. В.В. Еремеева. М.: КУРС, 2021. 368 с.
3. Егошкин Н.А., Еремеев В.В., Москвитин А.Э., Ушенкин В.А. Обработка информации от современных космических систем радиолокационного наблюдения Земли. М.: ФИЗМАТЛИТ. 2019. 320 с.
4. Еремеев В.А., Ларионов С.М., Макаренков А.А. Алгоритм формирования тестовых изображений в задаче кластеризации гиперспектральных данных // Материалы VI Всероссийской научно-технической конференции «Актуальные проблемы ракетно-космической техники» (VI Козловские чтения), том 1; под общ. ред. Р.Н. Ахметова. – Самара: Изд-во СамНЦ РАН, 2019. С. 221-223.
5. Москвитин И.В., Москвитин А.Э., Ушенкин В.А. Комплексование радиолокационных и оптических изображений от космических систем дистанционного зондирования Земли // Тез. докл. 27-й междунар. конф. «Математические методы в технике и технологиях». Рязань: РГРТУ, 2015. № 9 (79). С. 125-128.
6. Москвитин А.Э., Ушенкин В.А. Комплексование радиолокационных и оптических изображений от космических систем дистанционного зондирования Земли // Радиотехника. 2019. Т.83. № 5-2. С. 183-191.
7. Егошкин Н.А., Еремеев В.В., Москвитин А.Э., Ушенкин В.А. Формирование цифровых моделей рельефа на основе высокоточного развертывания фазы интерферограмм от систем радиолокационной съемки Земли // Радиотехника. 2016. № 11. С. 120-127.
8. Lee J.S. Speckle Analysis and Smoothing of Synthetic Aperture Radar Images // Computer Graphics and Image Processing. 1981. Vol. 17. pp. 24-32.
9. Frost V.S., Holtzman J.C., Josephine A., Shanmugan K.S., Stiles J.A. A Model for Radar Images and Its Application to Adaptive Digital Filtering of Multiplicative Noise // IEEE Transactions on Pattern Analysis and Machine Intelligence. 1982. Vol. PAMI-4. No. 2. pp. 157-166.

УДК 681.31; ГРНТИ 50.53

ПОКАЗАТЕЛИ ФУНКЦИОНАЛЬНОЙ НАДЕЖНОСТИ ИНФОРМАЦИОННЫХ ПРОЦЕССОВ СИСТЕМЫ ВИРТУАЛЬНОЙ РЕАЛЬНОСТИ

А.И. Таганов, М.И. Цыцына, А.А. Фоломеев

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

Аннотация. В работе рассматриваются вопросы применения современных показателей и практико-ориентированных методов для анализа и расчета функциональной надежности информационных процессов системы виртуальной реальности.

Ключевые слова: информационное обеспечение, показатели функциональной надежности, алгоритм расчета показателей надежности.

INDICATORS OF FUNCTIONAL RELIABILITY INFORMATION PROCESSES OF THE SYSTEM VIRTUAL REALITY

A.I. Taganov, M.I. Tsitsyna, A.A. Folomeev

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

Annotation. The paper discusses the application of modern indicators and practice-oriented methods for the analysis and calculation of the functional reliability of information processes of a virtual reality system.

Keywords: information support, functional reliability indicators, algorithm for calculating reliability indicators.

Введение

За последнее десятилетие в различные области техники, медицины, экологии, образования и сферы научных исследований активно внедряется новая экспериментальная технология «виртуальная реальность» [1]. Эффективность этой технологии подтверждена данными ее эффективного использования во многих отраслях научной и профессиональной деятельности и имеет широкие перспективы распространения в области профессионального образования и тренинга определенных практических навыков, таких как, управление транспортными средствами, летательными аппаратами, специальными роботами, ракетными установками и т.д. При этом практически все современные технологии и системы виртуальной реальности (СВР) имеют достаточно сложную функциональную и программно-аппаратную структуру своего построения и в условиях конкуренции вопросы обеспечения функциональной надежности компонентов таких систем являются достаточно актуальными задачами. В связи с этим в работе рассматриваются подходы к выбору показателей и методов для анализа и расчета функциональной надежности процессного и информационного обеспечения СВР на этапе проектирования. При этом под функциональной надежностью процессного и информационного обеспечения СВР понимается способность информационной системы правильно выполнять предусмотренные функциональные задачи с приемлемым уровнем безошибочности в реальных условиях эксплуатации при взаимодействии с внешними объектами [5].

Современные методики и практики анализа функциональной надежности сложных программных систем в основном ориентированы на исследование потоков функциональных отказов информационных процессов, возникающих в ходе выполнения задач информационных процессов в информационных системах, а также на исследование потоков восстановлений этих процессов. Само понятие функционального отказа рассматривается как событие невыполнения функциональной задачи вследствие нарушения информационного процесса. При этом нарушение информационного процесса в системе анализируется на предмет наличия ошибок в программных средствах, ошибок во входной информации и ошибок сбойного характера в цифровой аппаратуре [4,5]. В процессе анализа ошибок каждый отдельный информационный процесс рассматривается как совокупность иерархически упорядоченных информационных подпроцессов и реализуется от низшего уровня к высшему уровню иерархии. При этом сбойные ошибки, возникающие на любом уровне иерархии, могут распространяться до самого верхнего уровня и привести к *функциональному отказу*, как самого информационного процесса, так и информационной системы в целом.

Модель функционального отказа в СВР

Для построения информационной модели функционального отказа СВР будем считать, что эта система выполняет в текущий момент времени q функциональных задач. Каждая задача $q_i, (i = 1, \dots, q)$ описывается группой параметров и реализуется соответствующими программами. Обозначим через Y_i совокупность возможных значений параметров i -й задачи, которые представим в виде множества $Y_i = \{x_i, y_i, l_i, k_i\}$, где x_i - множество параметров надежности технических средств; y_i - множество параметров надежности программ; l_i - множество параметров надежности операторов; k_i - множество параметров надежности информационных каналов СВР. Тогда *мгновенный образ* информационно-вычислительной среды СВР может быть определен в виде множества $R = (Y_1, Y_2, \dots, Y_q)$, характеризующего состояние функционирования СВР. В процессе обработки этого образа могут быть вычислены *координаты центра тяжести $\bar{R}(t)$ образа*, как средневзвешенное значение мгновенных характеристик Y_i , которые определяют состояние функционирования вычислительной среды

СВР в текущий момент времени. Эти координаты центра тяжести постоянно меняются во времени, т.е. на практике имеет место случайный процесс $\overline{R(t)}$. Множество отдельных реализаций этого процесса g , называемое траекториями процесса смены состояний, представим как $g \in G$. При анализе помимо характеристик $\overline{R(t)}$ следует учитывать еще параметры внешних факторов, обусловленных воздействиями внешней среды на систему. К этим факторам относятся параметры потока заявок на обслуживание в системе, параметры оперативности обработки и передачи информации и др. Эти значения параметров, известные в текущий момент времени, обозначим вектором $Z = (z_1, z_2, \dots, z_m)$, где z_j - совокупность возможных значений параметров j -го внешнего фактора.

С учетом указанных допущений и обозначений введем в рассмотрение функцию безошибочности $\Phi(R, Z, t)$, характеризующую способность СВР безошибочно выполнять во времени различные группы функциональных задач и безошибочно принимать и передавать различные сообщения. Далее все множество состояний S системы разделим на два непересекающихся множества $S_\phi \cup \overline{S_\phi} = S$, где S_ϕ - множество безошибочных состояний функционирования СВР; $\overline{S_\phi}$ - множество состояний с уровнем безошибочности СВР ниже допустимого уровня. Множество S_ϕ также разделим на два непересекающихся множества $S_0 \cup S_1 = S_\phi$, где S_0 - состояния с номинальной безошибочностью функционирования СВР; S_1 - состояния с уровнем приемлемой безошибочности функционирования, которые также можно разделить на упорядоченные группы непересекающихся множеств по степени снижения уровней приемлемой безошибочности

$$S_{11} \supset S_{12} \supset S_{13} \supset \dots \supset S_{1Z},$$

где S_{11} - множество граничное с множеством S_0 ; S_{1Z} - множество граничное с множеством $\overline{S_\phi}$; множества состояний S_{1k}, S_{1j} ($k < j$) являются промежуточными состояниями СВР.

Таким образом, под *частичным функциональным отказом* СВР понимается переход процесса $\overline{R(t)}$ из одного множества S_{1k} другое S_{1j} со значением функции безошибочности $\Phi_j < \Phi_k$. Полный функциональный отказ СВР наступает при переходе системы из множества состояний S_0 в множество состояний $\overline{S_\phi}$. Уровню номинальной безошибочности Φ_0 соответствует множество состояний S_0 .

Отсюда следует, что под функциональной надежностью СВР понимается способность системы правильно выполнять предусмотренные функциональные задачи с приемлемым уровнем безошибочности в реальных условиях эксплуатации при взаимодействии с внешними объектами [4,5].

Для расчета и прогнозирования функциональной надежности информационных процессов проектируемой системы виртуальной реальности на практике необходимы соответствующие показатели, модели и методы анализа функциональной надежности. При этом выбранная система показателей функциональной надежности информационных процессов СВР должна отвечать общепринятым требованиям теории и практики проектирования надежных автоматизированных информационных и управляющих программных систем [2-7].

Выбор системы показателей функциональной надежности СВР

На практике современные системы виртуальной реальности являются достаточно сложными дискретными системами с рядом отличительных особенностей [1,2,4]:

- динамично меняющейся структурой в зависимости от характеристик потоков заявок, содержания алгоритмов реализуемых информационных процессов, режимов и организации обслуживания СВР;

- нарушениями правильности выполнения последовательности информационных процессов при возникновении различных ошибок;

- трансформацией сбоев дискретных устройств в ошибки комплекса программ и т.д. В этом случае система показателей функциональной надежности таких СВР должна отвечать ряду требований, а именно [4,5]:

- каждый показатель функциональной надежности должен быть измерим и допускать возможность экспериментальной проверки;

- показатели должны отражать дискретность случайных процессов возникновения сбойных и внешних ошибок;

- система показателей должна быть удобной в практическом применении и иметь единую количественную меру расчета;

- система показателей должна содержать как единичные, так и комплексные показатели функциональной надежности СВР.

Проведенный в работе аналитический обзор существующих практико-ориентированных моделей анализа и оценки функциональной надежности программного и информационного обеспечения информационных систем показал [4-6], что к измеряемым единичным показателям функциональной надежности СВР могут быть отнесены следующие показатели надежности, измеряемые относительно каждой отдельной функции (информационного процесса) системы:

1. Вероятность безошибочного выполнения информационного процесса

$$P_i = \prod_{j=0}^{m_i-1} P_{\Pi\Pi j}, i = 1, 2, \dots, n; m_i \in M, \quad (1)$$

где m_i - количество уровней иерархии i -го процесса СВР;

$P_{\Pi\Pi j}$ - вероятность безошибочного выполнения процесса j -го уровня иерархии;

n - количество выполняемых процессов в СВР в текущее время;

M - все множество выполняемых процессов (функций) в СВР.

2. Вероятность ошибки в выполнении информационного процесса

Определяется как вероятность выполнения с ошибкой хотя бы одного процесса на произвольном уровне иерархии, т.е.

$$G_i = 1 - P_i = 1 - \prod_{j=0}^{m_i-1} P_{\Pi\Pi j}. \quad (2)$$

3. Вероятность частичного функционального отказа процесса

$$G_{i\Phi} = (1 - P_i)g_{i\Phi_T} = G_i g_{i\Phi_T}, \quad (3)$$

где $g_{i\Phi_T}$ - условная вероятность трансформации ошибки в отказ процесса СВР.

4. Средняя наработка до частичного функционального отказа процесса

$$T_{i\Phi} = T_i / G_i g_{i\Phi_T}, \quad (4)$$

где T_i - наработка до ошибки в выполнении текущего информационного процесса.

5. Среднее время простоя системы при обслуживании одного информационного процесса

$$T_{ПП} = \sum_{j=1}^4 T_{ij}, \quad (5)$$

где T_{i1} - среднее время задержки заявки в очереди;

T_{i2} - среднее время обнаружения ошибки;

T_{i3} - среднее время устранения ошибки;

T_{i4} - среднее время контроля процесса после его восстановления.

6. Коэффициент частичной готовности информационного процесса системы

$$K_{i\Phi} = T_i / (T_i + T_{i\Pi}). \quad (6)$$

Наряду с указанными единичными показателями функциональной надежности при оценке надежности СВР на практике должны использоваться и комплексные показатели функциональной надежности. Эти комплексные показатели являются мерой безошибочности выполнения всех предусмотренных функций при реализации соответствующих информационных процессов СВР. К этим важным показателям функциональной надежности целесообразно отнести следующие характеристики [5]:

1. Средняя вероятность безошибочного выполнения информационных процессов

$$\bar{P} = \sum_{i=1}^M k_i P_i, \quad (7)$$

где k_i - коэффициенты нормирования значимости отдельных процессов в СВР.

2. Коэффициент функциональной готовности СВР

Если информационные процессы в СВР независимы, то коэффициент функциональной готовности системы определится как:

$$K_{\Phi\Gamma} = \sum_{j=0}^M \prod_{i=1}^j K_{i\Phi} \prod_{i=1}^{M-j} (1 - K_{i\Phi}) (1 - \sum_{i=1}^{M-j} \omega_i), \quad (8)$$

где ω_i - вес i -го процесса.

3. Среднее время простоя СВР при обслуживании информационных процессов

$$T_{ПП} = \frac{\sum_{i=1}^M G_i k_{i1} T_{i\Pi}}{\sum_{i=1}^M G_i k_{i1}}, \quad (9)$$

где $T_{i\Pi}$ - средние времена простоев системы относительно каждого процесса;

$$k_{i1} = \Omega_i / \sum_{i=1}^M \Omega_i;$$

Ω_i - интенсивность поступления заявок на выполнение i -го информационного процесса.

4. Среднее время наработки на ошибку СВР при выполнении информационных процессов

$$T_C = \frac{T_{ПР} K_{ФГ}}{1 - K_{ФГ}}, \quad (10)$$

где $K_{ФГ}$ - коэффициент функциональной готовности;
 $T_{ПР}$ - среднее время простоя системы.

5. Средняя наработка на полный функциональный отказ СВР

$$T_{Ф} = \frac{T_{ПР} K_{ФГ}}{(1 - K_{ФГ}) g_{ФГ}}, \quad (11)$$

где $g_{ФГ}$ - средняя вероятность трансформации ошибки в функциональный отказ по информационным процессам.

6. Коэффициент оперативной функциональной готовности СВР

$$K_{ОФГ}(\tau_{ОП}) \approx K_{ФГ}(1 - \tau_{ОП} / T_{Ф}), \quad (12)$$

где $\tau_{ОП}$ - заданное оперативное время управления информационным процессом.

Для расчета выше определенных единичных и комплексных показателей функциональной надежности СВР необходимы удобные к практическому использованию методы и модели. В этом направлении могут быть использованы существующие теоретические и экспериментальные наработки, проверенные практикой. Например, в монографиях Шубинского И.В. [4,5] приведены удобные для профессионального применения модели и методы анализа структурной и функциональной надежности информационных систем. К этим методам относятся топологический полумарковский метод расчета функциональной надежности информационных систем и метод расчета функциональной надежности, выполняемый с помощью фундаментальной матрицы поглощающих Марковских цепей.

Алгоритм расчета показателей функциональной надежности СВР

Современная практика вычисления показателей функциональной надежности информационных систем часто концентрирует свое внимание на определение свойства безошибочности выполнения предусмотренных функций [4,5]. При этом, каждая функция, реализуемая с помощью информационного процесса, выполняется по заявкам, как это предусмотрено в системах массового обслуживания. На практике, при условии приоритетного обслуживания разнородных потоков заявок в СВР, также можно выделить и использовать минимально необходимые исходные данные для расчета показателей функциональной надежности. К этим исходным данным относятся: - функции распределения времени между заявками; - функции распределения времени выполнения информационных процессов (обслуживания заявок); - вероятности ошибок и частичных функциональных отказов; - веса информационных процессов; - средние длительности простоев системы при устранении ошибок в процессах; - заданное количество информационных процессов, которые должны быть выполнены безошибочно.

На основе указанных исходных данных требуется установить правила определения показателей функциональной надежности СВР в условиях приоритетного выполнения информационных процессов. Для решения такого рода задачи может быть использован топологический полумарковский метод расчета функциональной надежности информационной системы, который содержит следующие этапы решения задачи [4,5]:

1. Строится граф функционирования информационной системы с приоритетным обслуживанием заявок (информационных процессов).
2. Каждой вершине графа информационной системы приписываются те случайные величины [4], которые определяют возможность выхода системы из данной вершины в соседнее состояние.
3. На основании приведенной формулы (4.9) [4] определяются функции плотности вероятности при заданном условии независимости случайных величин времени обслуживания заявок.
4. По приведенным формулам (4.10) [4] находятся переходные вероятности и математические ожидания безусловных значений времени пребывания полумарковского случайного процесса в каждом из состояний.
5. При помощи полученных данных по приведенной формуле топологического полумарковского метода (4.18) [4] определяются финальные вероятности пребывания полумарковского процесса в каждом из состояний графа; также определяется среднее время между повторными попаданиями полумарковского процесса в состояния графа.
6. По сформированным здесь исходным данным, с применением представленных здесь формул (1) – (12), определяются требуемые для анализа и прогнозирования показатели функциональной надежности информационных процессов СВР с приоритетным обслуживанием заявок.

Выводы

Рассмотренные в работе вопросы построения системы показателей функциональной надежности СВР и вопросы применения практико-ориентированных методов расчета этих показателей основаны на использовании вероятностной теории надежности [2-6], ориентированной на анализ и обработку априорной информации. При этом рассмотренные здесь показатели и подходы к оценке функциональной надежности СВР не приспособлены к использованию исходных данных, представленных в виде высказываний экспертов по надежности на естественном языке. Поэтому в последние годы развивается, так называемая нечеткая теория надежности, которая наряду с применением вероятностного аппарата использует теорию нечетких множеств, хорошо приспособленную к учету лингвистической экспертной информации [7-10]. Это обстоятельство открывает новые возможности для проведения исследований с целью создания современных формализованных методов и технологий для анализа и оценки показателей функциональной надежности СВР в условиях нечеткости исходных данных.

Библиографический список

1. Технологии виртуальной реальности: методологические аспекты, достижения и перспективы / Ю.П. Зинченко, Г.Я. Меньшикова, Ю.М. Баяковский [и др.] - Национальный психологический журнал. 2010. №1(3). С. 54–62.
2. ГОСТ Р 51901.5-2005. Менеджмент риска. Руководство по применению методов анализа надежности.
3. Липаев В.В. Надежность программных средств / Липаев В.В. – М.: СИНТЕГ, 1998. – 232 с.
4. Шубинский И.Б. Структурная надежность информационных систем. Методы анализа. – М.: «Журнал Надежность», 2012. – 216 с.
5. Шубинский И.Б. Функциональная надежность информационных систем. Методы анализа. – М.: «Журнал Надежность», 2012. – 296 с.
6. Таганов А.И., Цыцына М.И. Модели анализа и прогнозирования структурной надежности информационных систем на этапе проектирования // В сборнике: Современные технологии в науке и образовании - СТНО-2020. Сборник трудов III международного научно-технического форума: в 10 т. Рязань, 2020. С. 209-214.
7. Макарова Н.В., Таганов А.И., Цыцына М.И. Оценка качества и функциональной надежности программных средств информационных систем // В сборнике: Современные технологии в науке и образовании - СТНО-2020. Сборник трудов III Международного научно-технического форума: в 10 т. Рязань, 2020. С. 205-209.

8. Ротштейн А.П., Штовба С.Д., Козачко А.Н. Моделирование и оптимизация надежности многомерных алгоритмических процессов. – Винница: «УНИВЕРСУМ-Вінниця», 2007. – 215 с.

9. Таганов А.И., Макарова Н.В., Цыцына М.И. Информационная поддержка процесса оценки качества программных средств / В сборнике: Современные технологии в науке и образовании - СТНО-2021. Сборник трудов IV Международного научно-технического форума. Рязань, 2021. Том. 6. С. 15-19.

10. Таганов А.И. Основы идентификации, анализа и мониторинга проектных рисков качества программных изделий в условиях нечеткости. Монография. М.: Горячая линия – Телеком, 2012. - 224 с.

УДК 621.391; ГРНТИ 49.03.03

ЭЛЕКТРОДИНАМИЧЕСКИЕ И КВАЗИСТАТИЧЕСКИЕ МЕТОДЫ МОДЕЛИРОВАНИЯ ВОЛНОВЕДУЩИХ СТРУКТУР

Е.П. Васильев, И.В. Садовская

Рязанский государственный радиотехнический университет.
Россия, Рязань, evasiliev48@mail.ru

Аннотация. Рассмотрена тенденция развития электродинамических и квазистатических методов моделирования волноведущих структур микроволнового диапазона.

Ключевые слова: моделирование, электродинамический метод, квазистатический метод, метод конечных элементов.

ELECTRODYNAMIC AND QUASISTATIC METHODS MODELING WAVEGUID STRUCTURES

E.P. Vasiliev, I.V. Sadovskaya

Ryazan State Radio Engineering University.
Russia, Ryazan, evasiliev48@mail.ru

Abstract. The tendency development of electrodynamic and quasi-static methods of modeling waveguide structures in the microwave range is considered.

Keywords: modeling, electrodynamic method, quasi-static method, finite element method.

Универсальный аппарат уравнений Максвелла позволяет на электродинамическом и квазистатическом уровнях строгости решать внутренние задачи для базовых элементов и неоднородностей на их основе. При этом необходимо при выборе методов моделирования исходить из соображений обеспечения решения задач с достаточной степенью точности и с допустимыми временными затратами. Это позволит эффективно реализовать методы анализа, параметрической оптимизации и вероятностного моделирования сложных систем СВЧ. Можно выделить три основных подхода используемых для решения внутренних задач электродинамики: квазистатический, электродинамический и численный [1].

Первые теоретические работы по исследованию полосковых структур и неоднородностей на их основе использовали квазистатические подходы, которые вполне адекватны реальным объектам, особенно в длинноволновых диапазонах, когда выполняются условия $\Lambda > 8h\sqrt{\varepsilon}$; $\Lambda > 4w\sqrt{\varepsilon}$ (h , w – толщина подложки и ширина проводника; Λ – длина волны в линии; ε – относительная диэлектрическая проницаемость), кроме этого должны выполняться еще два условия, а именно $h \ll \Lambda$, $w \ll \Lambda$. Только в этом случае можно считать, что токи текут вдоль полосок и практически отсутствуют компоненты полей направленные вдоль полосок. При этом решаются уравнения Пуассона для потенциальной функции или для функции Грина с учетом граничных условий. Оригинальный подход реализован в работе, где для исключения дифференциальных операций по одной из координат использовано преобразование Фурье, а также вводится пробная функция распределения плотности зарядов по полосковому проводнику с последующим ее уточнением исходя из принципа минимизации функ-

ционала для погонной емкости полосковой структуры. Другой подход основан на использовании интегрального уравнения:

$$\iint_{\Omega} \rho_s(x', y') G(x, y/x', y') dx' dy' = \Phi(x, y),$$

где $\rho_s(x', y')$ – поверхностная плотность зарядов;

$G(x, y/x', y')$ – функция Грина;

Ω – периметр поперечного сечения проводника;

$\Phi(x, y)$ – потенциальная функция.

Функция Грина определяется методом зеркальных изображений. Для приближенного решения интегрального уравнения периметр поперечного сечения полоски разбивается на N частей. Предполагается, что на каждой частичной полоске плотность зарядов ρ_{sk} постоянна. Тогда интегральное уравнение сводится к системе N линейных неоднородных уравнений для плотностей зарядов ρ_{sk} на частичной полоске Ω_k :

$$\sum_{k=1}^N \rho_{sk} \iint_{\Omega} G(x, y/x', y') dx' dy' = \Phi(x, y), k=1, 2, \dots, N.$$

Данная система уравнений решается численными методами.

В работе [2] приводится вывод телеграфных уравнений для волн в многослойной, многополосной линии с анизотропным заполнением, проницаемости слоев ε_i , μ_i (i – номер слоя) могут быть тензорами. При этом получены интегральные уравнения, позволяющие найти матрицы \mathbf{C}^e , \mathbf{L}^u коэффициентов телеграфных уравнений. Данные соотношения справедливы и в случае когда ε и μ зависят от частоты, так как частота, входящая в ε и μ , не связана с размерами сечения полосковой линии (ПЛ). Уравнения справедливы и для случая, когда в состав слоев входят ферриты, магнитные полупроводники, плазма, помещенные в постоянное магнитное поле. В частности, эти уравнения остаются справедливыми и для магнитостатических волн.

Целый ряд работ по квазистатическому моделированию полосковых структур основан на использовании метода конформных преобразований, который позволяет получить компактные и вполне приемлемые для практики соотношения. В тоже время, применение строгих подходов необходимо, так как они являются единственно пригодными в так называемой резонансной области частот и размеров, в которой неприменимы ни квазистатические, ни асимптотические методы. Зачастую только строгие методы позволяют вскрыть и понять сложные физические процессы и явления и получить фундаментальные математические результаты.

ПЛ можно представить в виде сочетания элементарных ячеек. Объединение ячеек эквивалентно размещению в соответствующих сечениях электрических или магнитных стенок в зависимости от типа рассматриваемой волны. Таким образом, граничные условия определяются конфигурацией или конструктивным типом полосковой структуры. Обычно накладываемые ограничения при решении электродинамической задачи сводятся к следующим: проводники нулевой толщины обладают идеальной проводимостью; абсолютные проницаемости сред, между которыми они размещены, равны ε_{ai} , μ_{ai} ($i=1, 2, 3...$); закон изменения составляющих электромагнитных полей собственных волн от времени t и продольной координаты z предполагается в форме $\exp[j(\omega t - \beta z)]$ (где β – подлежащая определению фазовая постоянная собственной волны; ω – круговая частота; j – мнимая единица). Тогда решение задачи можно свести к интегрированию уравнения Гельмгольца для каждой из частичных областей,

входящих в рассматриваемую ячейку. Поля собственных волн должны удовлетворять граничным условиям:

- касательная составляющая вектора напряженности электрического поля $E_{\tau} = 0$ на электрических стенках;
- касательная составляющая вектора напряженности магнитного поля $H_{\tau} = 0$ на магнитных стенках;
- условиям непрерывности касательных составляющих на границах раздела сред;
- условиям Мейкснера на ребрах полоскового проводника.

При решении уравнения Гельмгольца методом частичных областей [1] результат представляется в виде бесконечной системы уравнений, в каждое из которых входят двойные ряды с медленной сходимостью. Высокая степень приближения к строгому решению достигается при очень большом числе уравнений и членов в двойных рядах, что приводит к значительным вычислительным трудностям с точки зрения временных затрат. Поэтому зачастую находят применение альтернативные методы и в частности метод Шварца. Вместо бесконечной системы уравнений аналитическое решение записывается в виде двойных рядов, которые быстро сходятся. При этом обычно удается просуммировать один из рядов и свести решение к одному ряду, отдельные части которого также поддаются суммированию. В результате решение представляется в виде простых и компактных формул удобных для программной реализации. Идея метода Шварца заключается в следующем. В рассматриваемом сечении полосковой структуры выделяются две подобласти частично перекрывающиеся друг друга и образующие некоторую общую область. Затем решается задача для одной из подобластей. Для нее обычно известны граничные условия за исключением того участка контура подобласти, который одновременно является границей общей части. На этом участке граничные условия задаются произвольно. Далее решается задача для второй подобласти. Поскольку часть контура второй подобласти входит в первую подобласть, граничные условия для этой части задаются из решения задачи, полученного из первой подобласти. Таким способом находится первое приближение. Затем вновь решается задача для первой подобласти, причем граничные условия на участке контура, входящего во вторую подобласть, определяются из предыдущего решения для второй подобласти. Процесс повторяется до тех пор, пока следующее приближение не повторит предыдущее в пределах заданной точности. Последовательности полученных приближений сходятся к предельным функциям, решающим поставленную задачу для суммы двух подобластей.

В последнее время все больше распространение для исследования высших типов волн в полосковых структурах, находят проекционные методы (метод Бубнова-Галеркина, Ритца, Трефтца и др.) [1, 3]. В частности метод Галеркина для некоторой граничной задачи $J\bar{u} = \bar{f}$, (где J – дифференциальный оператор, заданный с надлежащими граничными условиями) состоит в том, что строится представление решения \bar{u} в виде суммы

$$\bar{u}^N = \sum_{n=1}^N a_n^N \bar{u}_n,$$

с неопределенными коэффициентами a_n^N . Очевидно, что разность $J\bar{u} - \bar{f}$ равна нулю, а потому равны нулю ее проекции на базис $\{\bar{u}_n\}$, коэффициенты Фурье $(J\bar{u} - \bar{f}, \bar{u}_n)$:

$$(J\bar{u} - \bar{f}, \bar{u}_k) = 0, k=1, 2, \dots, \infty.$$

Берутся N соотношений ортогональности

$$\left(Ju^N - \bar{f}, \bar{u}_k \right) = 0, k=1,2,\dots,N,$$

которые порождают систему линейных уравнений относительно коэффициентов a_n^N . Таким образом, метод Галеркина сводит граничную задачу к системе линейных уравнений. С другой стороны задачу на собственные значения для полосковых структур можно свести к вариационной задаче нахождения минимума функционала. Описанные проекционные методы универсальны, однако они требуют большого количества преобразований и вычислений, существенно возрастающих при усложнении конструктивных типов полосковых структур.

В последнее время получены строгие решения для трехмерных полосковых структур. Так в работе [3], рассматривается полностью экранированная трехслойная, трехмерная полосковая структура, для которой находятся тангенсальные составляющие электрического поля через плотность поверхностного тока. При этом полный ток аппроксимируется одномерными рядами с последующим введением пробных функций.

Одними из самых мощных и универсальных численных методов являются метод конечных разностей (МКР) и конечных элементов (МКЭ) в прямой и вариационных постановках. МКЭ находит применение в задачах возбуждения, которые сводятся к расчету неоднородных по длине волноведущих полосковых структур. Другой класс – это спектральные задачи связанные с расчетом однородных по длине регулярных волноведущих структур с неоднородной геометрией поперечного сечения и произвольным изменением свойств среды в поперечном направлении.

Возможности использования конечного элемента различной формы, размеров и пространственной ориентации обуславливает упрощение дискретизации граничных условий при сложной форме поперечного сечения волноведущей структуры.

Другое отличие МКЭ от МКР заключается в способе алгебраизации уравнений $Ju(\bar{x}) = f(\bar{x})$. Если в МКР аппроксимируются производные $\partial u / \partial \bar{x}$, то в МКЭ аппроксимируется решение $u(\bar{x})$ некоторой функцией $v(\bar{x})$ с неопределенными коэффициентами. Решение исходной задачи получается путем вычисления этих коэффициентов, а задача вычисления коэффициентов формулируется как задача минимизации функционала, характеризующего качество аппроксимации $u(\bar{x})$ функцией $v(\bar{x})$. В свою очередь последняя формулировка приводит к решению системы алгебраических уравнений.

Определенные сложности при использовании МКР возникают в случае разрывных коэффициентов исходной задачи, что приводит к снижению скорости сходимости конечно-разностного решения к точному. Устранение указанных трудностей, может быть реализовано на базе аппарата точных и усеченных разностных схем, что позволило создавать для задач с разрывными коэффициентами схемы на непрерывных сетках.

При использовании МКР для решения спектральных задач можно выделить два основных подхода. Первый основан на проекционно-сеточных методах (ПСМ), а второй на построении консервативных конечно-разностных схем с помощью метода баланса. В начале с помощью МКЭ были исследованы металлодиэлектрические волноводы, а затем данный подход был обобщен на открытые волноведущие структуры с произвольной формой поперечного сечения.

МКР в вариационной постановке обладает относительно невысокой скоростью сходимости. Использование конечных элементов более высокого порядка, позволяет повысить точность при тех же размерах матриц, однако элементы выше четвертого порядка применять нецелесообразно.

При расчетах волноведущих полосковых структур со сложными граничными условиями, т.е. криволинейными границами раздела в плоскости поперечного сечения, для более точной аппроксимации границ исследуемой области используются изопараметрические и

криволинейные квадратичные элементы, но как показала практика эффективней использовать большое количество простейших конечных элементов.

Специфика внутренних задач решаемых МКР или МКЭ в наибольшей степени проявляется при учете граничных условий для регулярных и нерегулярных (лежащих на расстоянии меньше шага сетки от граничной поверхности) точек сетки. Методики нахождения потенциальных функций в регулярных точках следующая. Вначале формируются граничные условия, в которые включаются значения потенциалов граничной и ближайших внутренних точек и данные о положении границы (расстояние до узловой нерегулярной точки и угол наклона нормали к границе). Полученные выражения разрешаются относительно потенциала граничной точки. Затем этот потенциал подставляется в конечно-разностное уравнение, записанное для приграничного узла. В точках, имеющих только одну внутреннюю соседнюю точку, значение функции отыскивается аппроксимацией значений функций в трех ближайших узлах, лежащих на прямой линии. Таким образом потенциалы граничных точек вообще исключаются из рассмотрения.

Применительно к полосковым структурам в последние десять лет бурно развивается МКР в пространственно-временной области. При этом традиционные граничные условия получили развитие в работах, где граничные условия формируются с учетом дисперсионных свойств физической модели. Предложен подход, позволяющий учитывать затухающие и другие моды высшего порядка.

При практическом использовании МКР и МКЭ возникает ряд проблем: ошибки МКР, интерполяция, сходимости и фиктивные решения. Погрешность МКР обусловлена в основном двумя причинами: а) заменой дифференциальных уравнений конечно-разностными, приводящей к ошибкам при определении искомым функций в узловых точках; б) отличием в построении интерполирующих и искомым функций несмотря на точное определение потенциальных функций в узлах сетки. При этом не только шаг сетки, но и характер анализируемого поля влияет на точность.

Для определения закона изменения потенциальной функции решается интерполяционная задача – определение значений потенциальной функции в промежутках между узлами. При этом линейная интерполяция между узлами сетки приводит к существенным ошибкам.

В настоящее время не существует универсальных алгоритмов, которые бы позволяли эффективно бороться с нефизическими (фиктивными) решениями, которые возникают при использовании МКР и МКЭ. Однако можно выделить два подхода, используемых для решения данной проблемы: апостериорный, когда истинные моды отделяются от фиктивных после процесса вычисления, и априорный, когда используются такие постановки задач, при которых фиктивные решения не возникают.

Библиографический список

1. Гринев А. Ю., Гиголо А. И. Математические основы и методы решения задач электродинамики: учеб. пособие. М: Радиотехника, 2015. 216 с.
2. Современные методы и результаты квазистатического анализа полосковых линий и устройств / А.И. Гипсман, В.М. Красноперкин, Г.С. Самохин и др. Обзоры по электронной технике. Сер. 1. Электроника СВЧ. М.: ЦНИИ Электроника. 1991. 102 с.
2. Банков С. Е., Курушин А. А. Электродинамика и техника СВЧ для пользователей САПР. Москва 2008. 276 с. [Электронный ресурс]. URL:<http://jre.cplire.ru/jre/library/3/text.pdf>. (Дата обращения: 25.02.21).

УДК 520.68; ГРНТИ 47.13.07

**ПРОЕКТИРОВАНИЕ МАЛОРАЗМЕРНЫХ ПОИСКОВЫХ
АСТРОФИЗИЧЕСКИХ ЗОНДОВ ДЛЯ СБОРА И АНАЛИЗА ВНЕЗЕМНЫХ
НАНООБЪЕКТОВ В ОКРЕСТНОСТЯХ ТОЧЕК ЛИБРАЦИИ ПЛАНЕТ,
ВХОДЯЩИХ В СОЛНЕЧНУЮ СИСТЕМУ**

В.А. Линьков, С.Ю. Линькова

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

Аннотация. В работе рассматриваются варианты конструкций поисковых астрофизических зондов, построенных на базе исследовательских малоразмерных бинарных космических аппаратов.

Ключевые слова: бинарный космический аппарат, точки либрации, Солнечная система, поиск и сбор внеземных нанообъектов.

**DESIGN OF SMALL SEARCH ASTROPHYSICAL PROBES
FOR COLLECTION AND ANALYSIS OF EXTRATERRESTRIAL
NANO-OBJECTS IN THE SURROUNDINGS OF LIBRATION POINTS
OF PLANETS IN THE SOLAR SYSTEM**

V.A. Linkov, S.Yu. Linkova

*Ryazan State Radiotechnical University named after V.F. Utkina,
Russian Federation, Ryazan, musolin.a.k@rsreu.ru*

Annotation. The paper considers design options for search astrophysical probes built on the basis of research small-sized binary spacecraft.

Keywords: binary spacecraft, libration points, solar system, search and collection of extraterrestrial nanoobjects.

В работе рассматриваются варианты конструкций астрофизических зондов, построенных на базе исследовательских малоразмерных бинарных космических аппаратов (БКА), весом менее 1000 грамм, предназначенных для поиска и сбора в космическом пространстве наноразмерных объектов внеземного происхождения, скопления которых расположены в окрестностях точек либрации (точек Лагранжа) в виде пылевых облакоподобных структур (например, пылевые облака Кордылевского в системе Луна-Земля). Цель исследований – на основании изучения собранных БКА материалов внеземного происхождения, их физико-химического анализа и классификации, осуществление последующего синтеза подобных наночастиц с известными или новыми свойствами, не встречающимися на Земле.

Используемое в тексте работы словосочетание «бинарный космический аппарат» (БКА) понимается как космический аппарат, состоящий из двух корпусов и одной общей армированной гибкой ленточной солнечной батареи, расположенной между ними, разворачиваемый за счет разматывания солнечной батареи, смотанной в рулон, при реверсивном перемещении одного корпуса относительно другого в противоположные стороны и обратно, осуществляемом с помощью мультивекторных матричных ракетных двигателей (ММРД). Гибкая ленточная солнечная батарея (СБ) – это гибкая диэлектрическая ленточная подложка, на которую нанесен массив соединенных между собой тонкопленочных солнечных фотоэлементов в сочетании с микроконтейнерами для сбора нанообъектов. Точки либрации – это точки, где гравитационное и центробежное ускорения, действующие на помещенное в окрестностях точки тело, уравновешиваются, в связи с чем так называемые «малые тела» могут там накапливаться [1, 2].

Собираемые БКА нанообъекты – отдельные наночастицы размером в интервале 2 - 100 нанометров и системы наночастиц, образующие однородные или неоднородные многозвенные конструкции, размеры которых меньше 2000 нанометров. В зависимости от размера и материала из которого созданы нанообъекты они могут обладать свойствами реагирования

на магнитные или электрические поля, в зависимости от окружающих факторов изменять свою полярность мгновенно или сохранять ее постоянно, переходить из одного физического состояния в другое, например, от воздействия световых или рентгеновских фотонов, преобразовывать длины волн электромагнитного излучения [3, 34].

При проектировании астрофизических зондов на базе БКА [13-33] используется ниже перечисленный набор компонентов и требований к их функционированию в зависимости удаления их поисковых траекторий от Солнца.

Специально для развертывания и свертывания БКА был разработан новый класс маневровых ракетных двигателей - мультивекторные матричные ракетные двигатели (ММРД) [5-12]. При разработке к ним предъявлялись следующие требования: высокая скорость разворота БКА с прецизионной точностью (цифровое мультивекторное управление величиной и направлением тяги), компактность, заправка горючим в процессе изготовления, технологичность изготовления.

Платформа для размещения тонкопленочного энергетического и научного оборудования выполняется на базе гибкой ленточной подложки с возможностью свертывания в рулон (герметически запаиваемый в космосе кокон для исключения попадания земных наночастиц) [25-33].

Энергетическое обеспечение осуществляется с помощью гибких солнечных батарей с возможностью свертывания в рулон [13-33]. В зависимости от получения требуемой мощности определяется длина диэлектрической гибкой ленточной подложки, на которой упорядоченно нанесены тонкопленочные солнечные фотоэлементы [4]. В свою очередь максимальная длина ленты ограничивается устойчивой работой лазерного дальномера (например, 100 метров) и толщиной подложки (несколько микрон). В зависимости от весогабаритных параметров, например, при весе БКА менее 1000 грамм, ленточная подложка наматывается на катушки с определенной вместительностью [30-32], что ограничивает длину при минимальной толщине и, соответственно, площадь солнечной батареи. При миниатюризации БКА и весе от 100 грамм и меньше целесообразней гибкую подложку СБ наматывать в рулон непосредственно на адаптированные под намотку и размотку цилиндрические (1, 2 рис. 1) корпуса [25-29].

Герметизация микроконтейнеров выполняется запайкой крышек микроконтейнера герметизирующей пленкой и последующим сматыванием ее в рулон для образования многослойного герметизирующего кокона, доставляемого из космоса на Землю или для большей биологической безопасности, на орбитальную космическую станцию для дальнейшего изучения с помощью электронных и флуоресцентных микроскопов [25-33].

Аккумуляция собранных наноматериалов осуществляется с помощью жестких диэлектрических микроподложек, на которые с помощью электрических или магнитных, или сочетания тех и других полей притягиваются нанообъекты с последующей запайкой в космосе для исключения попадания в контейнеры земных наночастиц.

Позиционирование и развертывание гибкой подложки осуществляется с помощью ММРД и четырех лазерных сканирующих дальнометров, закрепленных на торцах двух цилиндрических корпусов [25-30] или двух лазерных дальнометров [30, 31] в сочетании с двумя ТВ-камерами (при двух кубовой организации БКА) [30,31].

Солнечный датчик определяет координаты Солнца для осуществления эффективной ориентации солнечных батарей, расположенных на натянутой поверхности развернутого полотна гибкой ленточной подложки между двумя корпусами бинарного космического аппарата [13-33].

Собираемые БКА нанообъекты классифицируются и сортируются по размерам и физико-химическим свойствам. Для сбора положительно или отрицательно заряженных нанообъектов могут быть применены микроконтейнеры, в которых для притягивания используется электрическое поле, с помощью которого также происходит сортировка нанообъектов,

притягиваемых к положительно или отрицательно заряженным высоковольтным источником питания пленочным электродам, расположенным на жестких диэлектрических микроподложках. Для сбора нанообъектов с магнитными свойствами используются микроконтейнеры, на дне которых расположены пленочные электромагниты (плоские электромагнитные катушки), установленные под жесткими диэлектрическими микроподложками. В результате нанообъекты с магнитными свойствами, притягиваясь магнитным полем, оседают на жесткие диэлектрические микроподложки, встреченными на пути перемещения нанообъектов по магнитным силовым линиям [29]. В данные микроконтейнеры попадают в отличие от других только нанообъекты, притягиваемые магнитным полем и не обязательно имеющие ферромагнитные включения.

В более поздних разработках используются системы с сочетанием использования электрических и магнитных полей для отдельного сбора нанообъектов с различными физико-химическими свойствами [26, 27]. Кроме поиска и сбора проводится анализ на месте (*in situ*) [27], на наличие флуоресценции с указанием номера контейнера с целью коррекции траектории сканирования БКА, для более подробного изучения данного места, так как наночастицы при изменении гравитации или деформации могут переходить из излучающих в безызлучаемые и обнаружить их для проведения физико-химического анализа на Земле в массе других наночастиц будет крайне сложно.

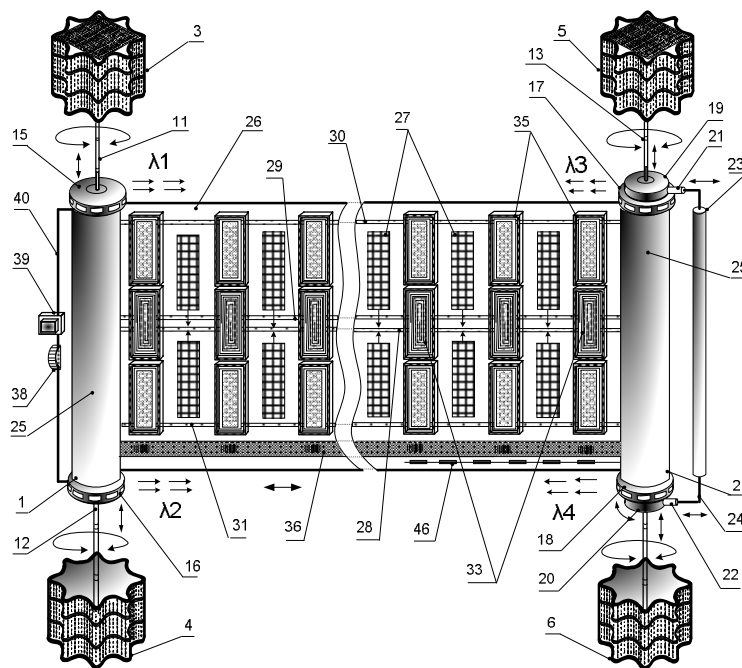


Рис. 1. Бинарный космический аппарат для поиска и сбора внеземных нанообъектов в окрестностях точек либрации планет, входящих в солнечную систему, в момент разворачивания гибкой солнечной батареи

В качестве примера приводится конструкция бинарного космического аппарата для поиска и сбора внеземных нанообъектов в окрестностях точек либрации планет, входящих в Солнечную систему [26], который содержит: (рис. 1, рис. 2) первый 1 и второй 2 цилиндрические корпуса, первый 3, второй 4, третий 5, четвертый 6 ММРД с волнообразными цилиндрическими поверхностями, первый 7, второй 8, третий 9, четвертый 10 линейные шаговые двигатели, первую 11, вторую 12, третью 13, четвертую 14 выдвижные телескопические штанги; первый 15, второй 16, третий 17, четвертый 18 дискообразные сканирующие лазерные дальномеры, первый 19 и второй 20 плоские шаговые двигатели, первый 21 и второй 22

прижимные линейные шаговые двигатели, цилиндрический термоэлемент 23, выдвижную П-образную штангу 24, герметизирующую пленку 25, гибкую диэлектрическую ленточную подложку 26, тонкопленочные солнечные фотоэлементы 27, силовые шины 28, информационную шину 29, высоковольтную шину с положительной полярностью 30, высоковольтную шину с отрицательной полярностью 31, пленочные электроды 32 плоские электромагнитные катушки 33, жесткие диэлектрические микроподложки 34, микроконтейнеры 35, позиционную штрих-кодую ленту 36, датчик штрих-кода 37, солнечный датчик 38, навигационную звездную камера 39, П-образную штангу 40, первый 41 и второй 42 контроллеры, первый 43 и второй 44 стабилизаторы напряжения, высоковольтный источник питания 45, коллинеарную антенну 46, приемопередатчик 47, микрогранулы термоплавкого клея 48. На Рис. 2, в границах замкнутых пунктирных линий, расположены элементы, конструктивно размещенные в первом 1 и втором 2 цилиндрических корпусах. $\lambda_1, \lambda_2, \lambda_3, \lambda_4$ – выделенные длины волн электромагнитного излучения оптического диапазона, излучаемые первым 15, вторым 16, третьим 17, четвертым 18 дискообразными сканируемыми лазерными дальномерами.

Этапы разворачивания и свертывания БКА включают следующие операции: выдвижение двигателей и ориентация положения БКА на Солнце; разворачивание гибкой подложки с размещенными фотоэлементами и микроконтейнерами для забора внеземных нанобъектов и перемещение БКА по окрестности точки либрации; сбор нанобъектов за счет притяжения их к поверхностям жестких диэлектрических микроподложек, расположенных в открытых микроконтейнерах, и последующая герметизация открытых частей микроконтейнеров с собранным наноматериалом запайкой герметизирующей пленкой; полное свертывание гибкой подложки в рулон и переход системы в энергоэкономичный режим ожидания транспортного космического аппарата для перемещения собранных нанобъектов в исследовательскую лабораторию электронной и зондовой микроскопии, расположенной на Земле или на орбитальной станции в космосе.

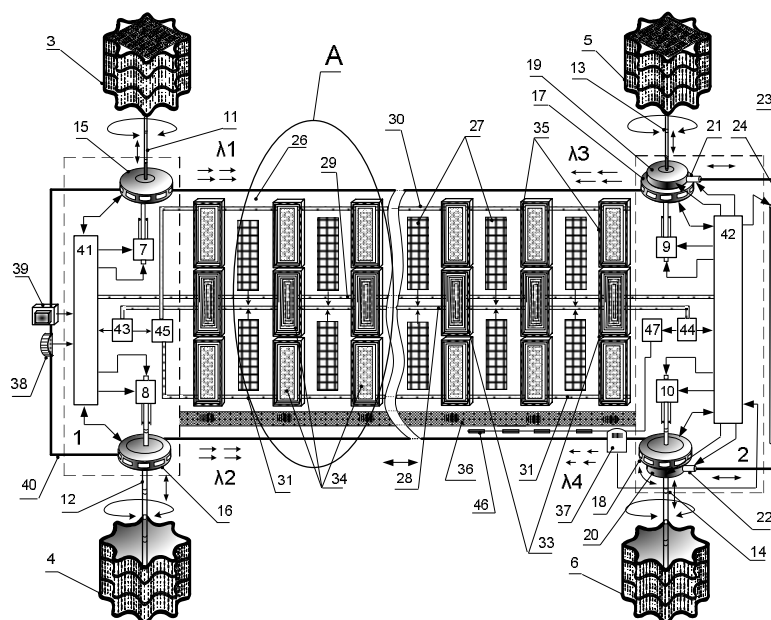


Рис. 2. Структурная блок-схема бинарного космического аппарата для поиска и сбора внеземных нанобъектов в окрестностях точек либрации планет, входящих в солнечную систему

Предложенные конструкции БКА для поиска и сбора внеземных нанобъектов в окрестностях точек либрации планет, входящих в солнечную систему, позволяют: развернуть и

свернуть поисковое гибкое ленточное полотно большой площади между двумя растягивающими ее маневровыми ММРД с волнообразной цилиндрической поверхностью. Осуществить сочетание сканирования по поисковой траектории исследуемой пылеоблачной структуры с одновременным раздельным сбором нанообъектов с магнитными и немагнитными свойствами, попавшими в зону притяжения электрических и магнитных полей. Реализовать конвейерную герметизацию собранных на жесткие диэлектрические микроподложки нанообъектов, разделенных по классам и размещенных в соответствующих микроконтейнерах, транспортируемых на Землю в виде компактного рулона.

Библиографический список

1. Точки либрации в небесной механике и космодинамике., *Маркеев А.П.*, Главная редакция физико-математической литературы издательства «Наука», М., 1978 г. 312 стр.
2. Способ забора и доставки на Землю проб космической пыли из окрестностей точек либрации системы Земля-Луна и комплекс средств для его реализации: Патент на изобретение RU 2691686 С1, 17.06.2019, / *Цыганков О.С.*
3. Сканирующий зонд атомно-силового микроскопа с отделяемым телеуправляемым нанокомпозитным излучающим элементом, легированным квантовыми точками, апконвертирующими и магнитными наночастицами структуры ядро-оболочка: Патент на изобретение RU 2723899 С1, 18.06.2020, / *Линьков В. А., Гусев С. И., Вишняков Н. В., Линьков Ю. В., Линьков П. В.*
4. Patent US 9758260 B2, Sep. 12, 2017, B64G 1/22, B64G 1/10, low volume micro satellite with elexible winded panels expandable after launch.
5. Матричная ракетная двигательная система с индивидуальным цифровым управлением величиной тяги каждой двигательной ячейки для малоразмерных космических аппаратов: Патент на изобретение RU 2660210 С1, 05.07.2018. Заявка № 2017114832 от 26.04.2017. / *Линьков В.А., Линьков Ю.В., Линьков П.В., Таганов А.И., Гусев С.И.*
6. Реверсивная матричная ракетная двигательная система с индивидуальным цифровым управлением величиной тяги каждой реверсивной двигательной ячейки для малоразмерных космических аппаратов: Патент на изобретение RU 2654782 С1, 22.05.2018. Заявка № 2017123451 от 03.07.2017. / *Линьков В.А., Линьков Ю.В., Линьков П.В., Таганов А.И., Гусев С.И.*
7. Матричная ракетная двигательная система с индивидуальным цифровым управлением величиной тяги каждой двигательной ячейки для малоразмерных космических аппаратов: Патент на полезную модель RU 178924 U1, 23.04.2018. Заявка № 2017116244 от 10.05.2017. / *Линьков В.А., Вишняков Н.В., Линьков Ю.В., Линьков П.В., Таганов А.И., Гусев С.И.*
8. Реверсивная матричная ракетная двигательная система с индивидуальным цифровым управлением величиной тяги каждой реверсивной двигательной ячейки для малоразмерных космических аппаратов: Патент на полезную модель RU 178748 U1, 18.04.2018. Заявка № 2017123920 от 05.07.2017. / *Линьков В.А., Вишняков Н.В., Линьков Ю.В., Линьков П.В., Таганов А.И., Гусев С.И.*
9. Мультивекторная матричная ракетная двигательная система с цифровым управлением величиной и направлением тяги двигательных ячеек для малоразмерных космических аппаратов: Патент на полезную модель RU 183937 U1, 09.10.2018. Заявка № 2018125136 от 09.07.2018. / *Линьков В.А., Гусев С.И., Колесников С.В., Линьков Ю.В., Линьков П.В., Таганов А.И.*
10. Мультивекторная матричная ракетная двигательная система с цифровым управлением величиной и направлением тяги двигательных ячеек для малоразмерных космических аппаратов: Патент на изобретение RU 2707474 С1, 26.11.2019. Заявка № 2018142754 от 03.12.2018. / *Линьков В.А., Гусев С.И., Колесников С.В., Линьков Ю.В., Линьков П.В., Таганов А.И.*
11. Мультивекторная матричная ракетная двигательная система с цифровым управлением величиной и направлением тяги двигательных ячеек для малоразмерных космических аппаратов: Патент на изобретение RU 2700299 С1, 16.09.2019. Заявка № 2018124424 от 03.07.2018 / *Линьков В.А., Гусев С.И., Колесников С.В., Линьков Ю.В., Линьков П.В., Таганов А.И.*
12. Мультивекторная матричная ракетная двигательная система с цифровым управлением величиной и направлением тяги двигательных ячеек для малоразмерных космических аппаратов: Патент на полезную модель RU 189442 U1, 22.05.2019. Заявка № 2018143940 от 11.12.2018. / *Линьков В.А., Гусев С.И., Колесников С.В., Линьков Ю.В., Линьков П.В., Таганов А.И.*
13. Бинарный космический аппарат с реконфигурируемой сканирующей антенной, совмещенной с солнечной батареей, развертываемой мультивекторными матричными ракетными двигателями: Патент на изобретение RU 2745166 С1, 22.03.2021. Заявка № 2020122810 от 03.07.2020. / *Линьков В.А.*

14. Бинарный космический аппарат с реконфигурируемой сканирующей антенной, совмещенной с солнечной батареей, развертываемой мультивекторными матричными ракетными двигателями: Патент на полезную модель RU 203113 U1, 22.03.2021. Заявка № 2020123633 от 09.07.2020. / *Линьков В.А.*

15. Бинарный космический аппарат с реконфигурируемой антенной, совмещенной с солнечной батареей, развертываемой мультивекторными матричными ракетными двигателями: Патент на изобретение RU 2744261 C1, 04.03.2021. Заявка № 2020121447 от 23.06.2020. / *Линьков В.А.*

16. Бинарный космический аппарат с реконфигурируемой антенной, совмещенной со свертываемой в рулон солнечной батареей, развертываемой мультивекторными матричными ракетными двигателями: Патент на изобретение RU 2735448 C1, 02.11.2020. Заявка № 2020113745 от 03.04.2020. / *Линьков В.А.*

17. Бинарный космический аппарат со сканирующей антенной, совмещенной со свертываемой в рулон солнечной батареей, развертываемой мультивекторными матричными ракетными двигателями: Патент на изобретение RU 2735449 C1, 02.11.2020. Заявка № 2020116045 от 27.04.2020. / *Линьков В.А.*

18. Бинарный космический аппарат с реконфигурируемой антенной, совмещенной с солнечной батареей, развертываемой мультивекторными матричными ракетными двигателями: Патент на полезную модель RU 200445 U1, 26.10.2020. Заявка № 2020122662 от 03.07.2020. / *Линьков В.А.*

19. Бинарный космический аппарат со сканирующей антенной, совмещенной со свертываемой в рулон солнечной батареей, развертываемой мультивекторными матричными ракетными двигателями Патент на полезную модель RU 200213 U1, 13.10.2020. Заявка № 2020117163 от 12.05.2020. / *Линьков В.А.*

20. Бинарный космический аппарат с реконфигурируемой антенной, совмещенной со свертываемой в рулон солнечной батареей, развертываемой мультивекторными матричными ракетными двигателями: Патент на полезную модель RU 198984 U1, 06.08.2020. Заявка № 2020116038 от 27.04.2020. / *Линьков В.А.*

21. Бинарный малоразмерный космический аппарат с реконфигурируемой антенной, совмещенной с гибкой развертываемой ленточной солнечной батареей: Патент на изобретение RU 2716728 C1, 16.03.2020. Заявка № 2019103169 от 05.02.2019. /

Линьков В.А., Гусев С.И., Колесников С.В., Линьков Ю.В., Линьков П.В., Таганов А.И.

22. Бинарный космический аппарат с реконфигурируемой антенной, совмещенной с гибкой ленточной солнечной батареей, развертываемой мультивекторными матричными ракетными двигателями: Патент на изобретение RU 2714064 C1, 11.02.2020. Заявка № 2019111570 от 16.04.2019. / *Линьков В.А., Гусев С.И., Колесников С.В., Линьков Ю.В., Линьков П.В., Таганов А.И.*

23. Бинарный космический аппарат с реконфигурируемой антенной, совмещенной с гибкой ленточной солнечной батареей, развертываемой мультивекторными матричными ракетными двигателями: Патент на полезную модель RU 190778 U1, 11.07.2019. Заявка № 2019112546 от 24.04.2019. / *Линьков В.А., Гусев С.И., Колесников С.В., Линьков Ю.В., Линьков П.В., Таганов А.И.*

24. Бинарный малоразмерный космический аппарат с реконфигурируемой антенной, совмещенной с гибкой ленточной солнечной батареей, развертываемой мультивекторным матричным ракетным двигателем: Патент на полезную модель RU 190495 U1, 02.07.2019. Заявка № 2019103760 от 11.02.2019. / *Линьков В.А., Гусев С.И., Колесников С.В., Линьков Ю.В., Линьков П.В., Таганов А.И.*

25. Бинарный космический аппарат для поиска и сбора внеземных нанообъектов с магнитными свойствами в окрестностях точек либрации: Патент на изобретение RU 2761686 C1, 13.12.2021. Заявка № 2021110352 от 13.04.2021. / *Линьков В. А.*

26. Бинарный космический аппарат для поиска и сбора внеземных нанообъектов в окрестностях точек либрации планет, входящих в солнечную систему: Патент на изобретение RU 2761486 C1, 08.12.2021. Заявка № 2021111499 от 21.04.2021. / *Линьков В. А.*

27. Бинарный космический аппарат для поиска и сбора внеземных излучающих нанообъектов в окрестностях точек либрации планет, входящих в солнечную систему: Патент на полезную модель RU 207630 U1, 08.11.2021. Заявка № 2021119904 от 06.07.2021. / *Линьков В. А.*

28. Бинарный космический аппарат для поиска и сбора внеземных нанообъектов в окрестностях точек либрации планет, входящих в солнечную систему: Патент на полезную модель RU 206424 U1, 13.09.2021. Заявка № 2021112468 от 27.04.2021. / *Линьков В. А.*

29. Бинарный космический аппарат для поиска и сбора внеземных нанообъектов с магнитными свойствами в окрестностях точек либрации: Патент на полезную модель RU 206426, 13.09.2021. Заявка № 2021111489 от 21.04.2021. / *Линьков В. А.*

30. Бинарный космический аппарат для поиска и сбора внеземных объектов со свойствами квантовых точек и апконвертирующих наночастиц в окрестностях точек либрации: Патент на изобретение 2749431 C1, 10.06.2021. Заявка № 2020135104 от 26.10.2020. / *Линьков В. А.*

31. Бинарный космический аппарат для поиска и сбора внеземных объектов со свойствами квантовых точек в окрестностях точек либрации: Патент на изобретение RU 2744277 C1, 04.03.2021. Заявка № 2020134827 от 22.10.2020. / *Линьков В.А.*

32. Бинарный космический аппарат для поиска и сбора внеземных объектов со свойствами квантовых точек и апконвертирующих наночастиц в окрестностях точек либрации: Патент на полезную модель RU 202750 U1, 04.03.2021. Заявка № 2020136043 от 02.11.2020. / *Линьков В.А.*

33. Бинарный космический аппарат для поиска и сбора внеземных объектов со свойствами квантовых точек в окрестностях точек либрации: Патент на полезную модель RU 202757 U1, 04.03.2021. Заявка № 2020135116 от 26.10.2020. / *Линьков В.А.*

34. Линьков В.А. Наноразмерные допуски и посадки для коллоидной самосборки микропрограммных элементов с конвейерным программированием спектров излучения на базе квантовых точек и апконвертирующих наночастиц структуры ядро-оболочка. Современные технологии в науке и образовании - СТНО-2020: сб.тр. III междунар. науч.-тех. Форума в 10 т. Т.6 - Рязань: РГРТУ-2020 С. 161-172.

УДК 004.932

ИСПОЛЬЗОВАНИЕ ПОЛЯРИМЕТРИЧЕСКИХ ПРИЗНАКОВ В ЗАДАЧЕ ОБНАРУЖЕНИЯ ЛЕСНОГО ПОКРОВА НА КОСМИЧЕСКИХ РАДИОЛОКАЦИОННЫХ ИЗОБРАЖЕНИЯХ

В.А. Ушенкин, А.В. Соловьев

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

Аннотация. Целью исследования является обнаружение высотной растительности на мультиполяризационных радиолокационных изображениях (РЛИ). В основу обнаружения положено сравнение ряда признаков, рассчитанных для конкретного участка изображения, с эталонными данными, заранее сформированными в результате обучения. Предлагается алгоритм вычисления вероятности наличия лесного покрова на участке изображения.

Ключевые слова: поляриметрическая декомпозиция, обработка радиолокационных изображений, обнаружение высотной растительности, декомпозиция Фримана-Дурдена, декомпозиция Клода-Потье, поляриметрические признаки.

USAGE OF POLARIMETRIC PARAMETERS FOR FOREST COVER DETECTION ON SPACEBORN SAR IMAGES

V.A. Ushenkin, A.V. Solovyev

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

The summary. The goal of the research is forest cover detection in multipolarized SAR images. The detection is based on comparison of a number of parameters calculated in a specific area of the image and reference data pre-formed as a result of training. The total number of used parameters is 12. An algorithm for calculating the probability of forest cover presence in an image area is proposed. It based on a comparison of the average values of parameters calculated within the area with the expected value and standard deviation of the reference data for each parameter.

Keywords: polarimetric decomposition, SAR image processing, forest cover detection, Freeman-Durden decomposition, Cloude-Pottier decomposition, polarimetric parameters

Мониторинг лесного покрова – одна из важнейших задач сразу в нескольких отраслях науки. Перспективным направлением развития является мониторинг лесного покрова земной поверхности по данным космического радиолокационного наблюдения Земли, которое можно выполнять всепогодно, всесезонно и в любое время суток.

Радиолокационная съемка подразумевает излучение электромагнитных волн в виде коротких модулированных радиоимпульсов и последующий приём отраженных обратно сигналов. При излучении и приёме могут использоваться различные поляризации электромагнитных волн. В современных радиолокаторах обычно применяется линейная поляризация: вертикальная (V) и горизонтальная (H). Таким образом, комбинируя различные поляризации при излучении и приеме, можно получить до четырёх комбинаций: HH, HV, VH и VV. Каждой из перечисленных комбинаций соответствует отдельное радиолокационное изображение

[2]. К мультиполяризационным наборам радиолокационных снимков может быть применена поляриметрическая обработка, открывающая широкий спектр возможностей по обнаружению и классификации объектов.

В настоящей работе результаты поляриметрической обработки применяются для мониторинга лесного покрова. Целью работы является обнаружение участков земной поверхности, характеризующихся наличием лесного покрова, по мультиполяризационному набору радиолокационных изображений (РЛИ) с использованием поляриметрических признаков.

Теоретическая часть

Поляриметрическая обработка радиолокационных изображений заключается в поляриметрической декомпозиции сигнала. Известно несколько различных декомпозиций. Ранее авторами был проведен их анализ на предмет применимости в задаче мониторинга лесного покрова, который показал, что наиболее пригодными являются декомпозиции Н-А- α и Фримана-Дурдена [3].

Декомпозиция Фримана-Дурдена [4] выполняется на основе поляриметрической матрицы ковариации. Ее можно описать уравнением:

$$C = \frac{f_V}{8} \begin{pmatrix} 3 & 0 & 1 \\ 0 & 2 & 0 \\ 1 & 0 & 3 \end{pmatrix} + f_D \begin{pmatrix} |\alpha_{FD}|^2 & 0 & \alpha_{FD} \\ 0 & 0 & 0 \\ \alpha_{FD} & 0 & 1 \end{pmatrix} + f_S \begin{pmatrix} |\beta_{FD}|^2 & 0 & \beta_{FD} \\ 0 & 0 & 0 \\ \beta_{FD} & 0 & 1 \end{pmatrix}, \quad (1)$$

где f_S , f_V и f_D – действительные промежуточные параметры, а α_{FD} и β_{FD} – комплексные промежуточные параметры. Итоговое поляриметрическое изображение составляется из величин $\sqrt{f_V}$, $\sqrt{f_D(1+|\alpha_{FD}|^2)}$ и $\sqrt{f_S(1+|\beta_{FD}|^2)}$.

Декомпозиция Н-А- α [5] выполняется на основе поляриметрической матрицы когерентности. Результатом декомпозиции является следующий набор коэффициентов: H отвечает за энтропию, A – за анизотропию, α – значение среднего угла.

Энтропия является мерой упорядоченности и вычисляется по следующей формуле:

$$H = -\sum_{i=1}^3 P_i \log_3 P_i, \quad (2)$$

где $P_i = \frac{\lambda_i}{\lambda_1 + \lambda_2 + \lambda_3}$ – вес механизма рассеяния, соответствующего собственному числу, в суммарном рассеянии.

Энтропия нормируется от 0 (полный порядок) до 1 (полный хаос). Лесной покров обладает высокой энтропией.

Анизотропия – величина, дополняющая энтропию. Она вычисляется по формуле:

$$A = \frac{\lambda_2 - \lambda_3}{\lambda_2 + \lambda_3}. \quad (3)$$

Значение анизотропии учитывается только при высокой энтропии и также нормируется от 0 до 1. Леса и водная поверхность обычно характеризуются низкой анизотропией, а высокой – городская застройка.

Каждый из собственных векторов u_i поляриметрической матрицы когерентности может быть представлен в виде комбинации параметров φ_i , α_i , β_i , δ_i и γ_i следующим образом:

$$u_i = e^{j\varphi_i} (\cos \alpha_i * (\sin \alpha_i * \cos \beta_i) e^{j\delta_i} * (\sin \alpha_i * \sin \gamma_i) e^{j\gamma_i})^T. \quad (4)$$

Средний угол α вычисляется по формуле:

$$\alpha = \sum_{i=1}^3 P_i \alpha_i . \quad (5)$$

Средний угол α мал в случае водоёмов, а для лесных массивов и городов характерны значения от 45 до 90 градусов.

Для качественного выделения лесов недостаточно выполнить поляриметрическую декомпозицию радиолокационного изображения. Помимо результатов декомпозиции следует принять во внимание ряд дополнительных поляриметрических признаков [1]. Перечислим их:

- Случайность цели;
- Поляризационная асимметрия;
- Поляризационная доля;
- Радиолокационный вегетационный индекс;
- Высота пьедестала;
- Относительная разность собственных чисел для однократного отражения;
- Относительная разность собственных чисел для двукратного отражения.

Все вышеперечисленные поляриметрические параметры используются в качестве признаков наличия/отсутствия лесного покрова в конкретном пикселе изображения. Помимо вышеперечисленных величин для обнаружения лесного покрова в качестве признаков используются значения энтропии, анизотропии и среднего угла, полученные в результате поляриметрической декомпозиции Н-А- α , а также доля величины $\sqrt{f_v}$ по отношению к сумме результирующих величин декомпозиции Фримана-Дурдена.

Для более качественного отделения лесов от лугов и полей поляриметрические признаки решено дополнить энергетическим признаком – суммарной удельной эффективной площадью рассеяния (ЭПР), вычисленной по всем 4 вариантам поляризации.

Чтобы в дальнейшем определять наличие высотной растительности по совокупности признаков, выполним обучение, вычислив математическое ожидание и среднее квадратичное отклонение (СКО) каждого признака на эталонном участке изображения, заведомо являющемся лесом.

Пиксель может быть классифицирован как лес, если среднее значение каждого признака в окрестности данного пикселя близко к эталонному математическому ожиданию. При этом степень близости должна учитывать разброс значений признаков в пределах леса, выражаемый эталонными СКО каждого признака. С учетом вышесказанного введем следующую функцию $f(m)$ принадлежности пикселя РЛИ лесному покрову по конкретному признаку, где m – среднее значение заданного признака в окрестности пикселя:

$$f(m) = e^{\left(\frac{-m_0}{2^{22} \sigma^{16}} \right)}, \quad (12)$$

где m_0 – эталонное математическое ожидание значений признака, σ – эталонное СКО значений признака.

Итоговую степень принадлежности пикселя лесному покрову определим как конъюнкцию значений функции принадлежности для каждого признака, которая, согласно правилам нечеткой логики, сводится к Т-норме этих значений. В настоящей работе в качестве Т-нормы используется произведение функций принадлежности для каждого признака.

Для оценки корректности обнаружения лесного покрова для каждого тестового снимка была создана эталонная бинарная маска. Каждый пиксель маски может иметь два значения, одно из которых соответствует наличию, а другое – отсутствию лесного покрова. После применения описанного выше алгоритма для всех тестовых изображений формируются ре-

зультаты обнаружения лесного покрова. Имея эталонную бинарную маску и реальный результат обнаружения лесного покрова, можно выполнить серию попиксельных сравнений.

Введём следующие обозначения. Пусть Ω - множество всех пикселей поляриметрического изображения. Тогда множество пикселей, соответствующих лесному покрову согласно эталонным данным, обозначается как

$$\Omega_M = \{(x, y) : M(x, y) = 1\}, \quad (13)$$

где $M(x, y)$ – код яркости пикселя на эталонной бинарной маске.

Множество пикселей, классифицированных как лесной покров в результате работы предложенного алгоритма, обозначим как

$$\Omega_D = \{(x, y) : D_F(x, y) > D_{\min}\}, \quad (14)$$

где $D_F(x, y)$ – степень принадлежности пикселя лесному покрову, $0 \leq D_{\min} < 1$ – порог обнаружения.

С учетом введенных обозначений вероятность верного определения лесных участков в процентах определяется как

$$P_1 = \frac{|\Omega_M \cap \Omega_D|}{|\Omega|} * 100\%, \quad (15)$$

а вероятность верного определения лесных участков в процентах – как

$$P_2 = \frac{|\overline{\Omega_M \cap \Omega_D}|}{|\Omega|} * 100\%. \quad (16)$$

Экспериментальная часть

Наилучшее качество обнаружения лесного покрова удалось получить, используя окна обработки 13x13 пикселей для вычисления поляриметрических декомпозиций и признаков, а также для усреднения значений признаков в окрестности каждого пикселя.

Экспериментальные исследования, выполненные с использованием тестовых радиолокационных снимков от космического аппарата «RadarSat-2», показали следующие результаты: $P_1 = 94.648\%$; $P_2 = 15.232\%$.

Для наглядности продемонстрируем изображение, соответствующие участки которого выделены следующими цветами:

- участки с лесным покровом, определённые верно – белым цветом;
- участки с лесным покровом, не определённые соответствующим образом – красным цветом;
- участки без лесного покрова, ошибочно определённые как лес – синим цветом;
- участки без лесного покрова, определённые верно – черным цветом.

На рисунке 2 приводится визуализация полученных в ходе эксперимента данных:

- а) бинарной маски фактического наличия высотной растительности;
- б) результата нахождения лесного покрова предложенным алгоритмом;
- в) результата сопоставления полученных и фактических данных.

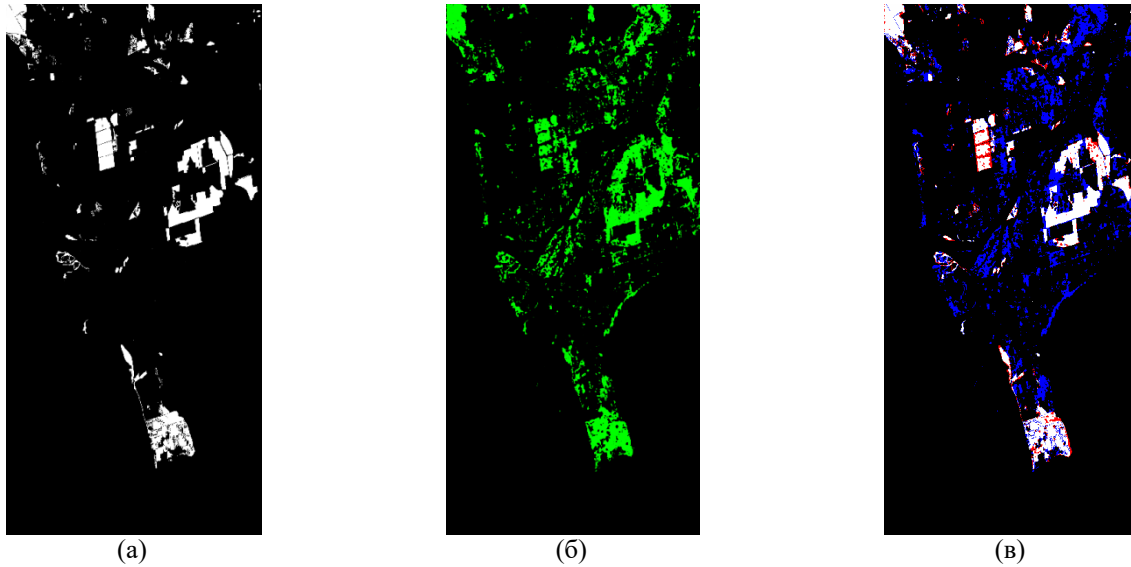


Рис. 2. Пример данных, полученных в результате эксперимента

Ранее публиковалась работа по теме исследования поляриметрических декомпозиций на предмет их применимости в задаче мониторинга лесного покрова поверхности Земли [3]. Наилучший результат показали декомпозиции Н-А- α ($P_1 = 77\%$; $P_2 = 27\%$) и Фримана-Дурдена ($P_1 = 72\%$; $P_2 = 26\%$). Результат предлагаемого в настоящей работе алгоритма обнаружения высотной растительности однозначно превосходит результаты, полученные в предыдущем исследовании. Тем не менее, предлагаемый алгоритм обнаружения лесного покрова имеет вероятность ложного определения пикселя как леса, равную 15%. Кроме того, из-за обработки РЛИ в окне 13x13 пикселей результат обладает существенно меньшей детальностью, чем исходное изображение.

Выводы

В настоящей работе был предложен алгоритм программного обнаружения участков с высотной растительностью на мультиполяризационном РЛИ. В ходе эксперимента установлено, что результат обнаружения высотной растительности с помощью поляриметрических признаков однозначно превосходит результаты, получаемые на основе одной поляриметрической декомпозиции. Целесообразны дальнейшие исследования, направленные на устранение недостатков предлагаемого алгоритма.

Библиографический список

1. Cloude SR, Pottier E (1997) An entropy based classification scheme for land applications of polarimetric SAR. IEEE Trans. on Geoscience and Remote Sensing 35(1): 68–78.
2. Егошкин Н.А., Еремеев В.В., Москвитин А.Э., Ушенкин В.А. Обработка информации от современных космических систем радиолокационного наблюдения Земли – М.: ФИЗМАТЛИТ, 2019. – 320 с.
3. Современные технологии обработки данных дистанционного зондирования Земли / Под ред. В.В. Еремеева. – М.: ФИЗМАТЛИТ, 2015. – 460 с.
4. Freeman A., Durden S.L. A three-component scattering model for polarimetric SAR data // IEEE Trans. on GEO-science and Remote Sensing, T-GRS May 98. – P. 963-973.
5. Соловьев А.В., Ушенкин В.А. Анализ пригодности поляриметрических декомпозиций космических радиолокационных изображений для обнаружения высотной растительности // Сборник трудов IV Международного научно-технического форума: в 10 т. Том. 6. – Рязань: Book Jet, 2021. – С. 5-10.

УДК 004.054; ГРНТИ 20.15.05

АНАЛИЗ ОСНОВНЫХ КЛАССИФИКАЦИЙ ПРОГРАММНОГО ОБЕСПЕЧЕНИЯ ДЛЯ ДОПОЛНЕНИЯ МОДЕЛИ СОСОМО

Н.В. Куликов

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

Аннотация. В работе рассматриваются основные виды классификации программного обеспечения по различным критериям. Критерии анализируются, распределяются по степени увеличения трудоемкости при разработке программного обеспечения. Этими критериями дополняется модель оценки разработки программного обеспечения СОСОМО.

Ключевые слова: оценка трудоемкости, программное обеспечение (ПО), классификация, критерии, СОСОМО.

ANALYSIS OF THE MAIN CLASSIFICATIONS OF SOFTWARE TO COMPLEMENT THE COCOMO MODEL

A.S. Kulikov

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

The summary. The paper considers the main types of software classification according to various criteria. The criteria are analyzed and distributed according to the degree of increase in labor intensity in software development. These criteria are complemented by the COCOMO software development evaluation model.

Keywords: labor intensity assessment, software, classification, criteria, COCOMO.

Одной из проблем оценки трудоемкости разработки ПО по методике СОСОМО является учет малого количества факторов стоимости. Список факторов в [1] не может охватить все аспекты при разработке ПО.

С одной стороны, охватить полностью все аспекты невозможно, так как на разработку влияет огромное число факторов. Тут скорее применима динамическая система, суть которой заключается в том, что для каждого конкретного случая оценки разработки необходимо рассматривать свой набор факторов. С другой стороны, базовый набор факторов выделить все таки возможно. Базовый набор — это некий основной набор факторов, который является наиболее общим для программной разработки в целом.

Модель СОСОМО содержит в себе такой базовый набор, однако его недостаточно, поскольку если рассмотреть различные классификации ПО, то многие критерии из этих классификаций совершенно не учитываются в модели. Речь идет про средний и детальный уровень модели, поскольку в базовом факторы стоимости не учитываются вовсе.

Целью данной работы является расширение базового набора факторов стоимости модели СОСОМО критериями из основных видов классификации ПО. Для этого необходимо проанализировать основные виды классификации ПО и на основе данного анализа выявить дополнительные базовые критерии. После выявленные критерии необходимо распределить по степени влияния на трудоемкость разработки и включить в базовые факторы стоимости модели.

Классификация программного обеспечения

Существует несколько видов классификации ПО. Наибольшее распространение получила классификация по степени взаимодействия с аппаратным обеспечением, в рамках которого ПО делится на системное и прикладное. Системное ПО — комплекс программ, обеспечивающие управление оборудованием аппаратного обеспечения компьютера, таким как центральный процессор, оперативная память, устройства ввода-вывода и т.д. Системное ПО выступает в роли некоего интерфейса, с одной стороны которого аппаратное обеспечение, а с

другой — прикладное ПО (приложения пользователя). В отличие от прикладного ПО, системное не нацелено на решение конкретных практических задачи. Главная задача такого ПО - обеспечение работы других программ. Примерами системного ПО являются драйверы устройств, операционная система [2].

Прикладное ПО — программы, предназначенные для выполнения конкретных задач и рассчитанная на непосредственное взаимодействие с пользователем. Такие программы имеют интерфейс для удобного взаимодействия с пользователем. Интерфейс может быть как графическим, так и текстовым. В большинстве операционных систем прикладное ПО не может напрямую обращаться к аппаратным ресурсам. В таком случае, прикладное ПО производит взаимодействия с оборудованием посредством системного ПО [3].

Каким образом тип разрабатываемого ПО (системное или прикладное) влияет на время разработки и на ее трудоемкость оценить сложно. С одной стороны, системное ПО требует высокой степени оптимизации, поскольку быстродействие является критичным вопросом в области работы с оборудованием. Для прикладного ПО быстродействие не так критично, хотя тоже немаловажно. Но для программ, ориентированных на работу с пользователем, важно разработать интуитивно понятный и удобный интерфейс взаимодействия. Поэтому данный критерий в оценке учитываться не будет.

Другим видом классификации является классификация по области применения. Классификация ПО по области применения включает несколько подходов. В целом, ПО делят на заказное, то есть создаваемое для конкретного заказчика, и продуктивное, то есть создаваемое для массовой продажи [4].

По другой версии, помимо продуктивного и заказного, выделяют также индивидуальное ПО и в таком случае данную классификацию можно описать следующим образом:

1. ПО для массовых продаж (продуктивное) — это операционные системы, системы управления базами данных, банковские системы;
2. заказное ПО — разрабатывается под конкретного заказчика по его техническому заданию, например, информационная система или система управления технологическим процессом;
3. индивидуальное ПО — создаётся для собственного использования самими пользователями этого программного обеспечения, например, программное обеспечение для уникального научно-исследовательского оборудования, созданное работниками лаборатории.

В данном случае, наиболее простым в разработке видится ПО, относящееся к индивидуальному типу, поскольку тут разработка ведется для собственных нужд разработчика. Наиболее сложным случаем является массовая разработка, поскольку, в отличии от двух других типов, у разработчика в таком случае отсутствует список требований к разрабатываемой (в большинстве случаев), нет явно-выраженной обратной связи с заказчиком (кроме отзывов на сайте, рецензии в журнале и т.д.). Есть лишь идея и нет никаких гарантий, что система вообще будет использоваться.

Другая классификация учитывает то, на скольких платформах предполагается использование ПО. Различают одноплатформенные (для одной платформы), переносимое (несколько версий программы для разных платформ) и кроссплатформенное (одна и та же версия программы для разных платформ) [5]. В данном случае наиболее сложным вариантом является кроссплатформенная система.

Классификация по степени использования сетевых ресурсов также имеет место быть. Программа может активно использовать сетевые ресурсы и даже управлять трафиком (брандмауэры, различные серверы и т.д.), может частично использовать данные ресурсы (мессенджеры, электронная почта, офисное ПО и т.д.), а может и не использовать вовсе. Использование сетевых ресурсов усложняет разработку ПО.

По аналогии существует классификация по степени использования базы данных (БД). В этом случае, программы разделяют на активно использующие БД (клиент-серверные приложения, например), частично использующие БД (например, SCADA-системы) и не использующие БД вовсе. Использование БД также увеличивает трудоемкость системы.

Существует ряд других классификаций:

- по способу установки (требующие установки, не требующие установки и портативные). Портативные программы проще тем, что не требуют дополнительной разработки инсталляторов для них;
- по аппаратной платформе (суперЭВМ, сервер, десктоп, портативные и мобильные устройства, микропроцессоры, ПЛК и пр.). Данный критерий влияет лишь опосредованно, поскольку сложность разработки скорее зависит не от платформы, а от языка разработки. Чем ближе язык разработки к верхнему уровню, тем проще разработка ПО, и чем соответственно язык ближе к ассемблерам, объектному или машинному коду, тем разработка сложнее;
- по способу взаимодействия с пользователем (с графическим интерфейсом или консольным вводом). Текстовый интерфейс в разы проще графического в плане разработки. Кроме того, у системы может отсутствовать вообще какой-либо интерфейс;
- по масштабу (одиночное приложение или программный комплекс). Очевидно, что программный комплекс, вмещающий в себя ряд одиночных приложений, на порядок сложнее, нежели отдельное одиночное приложение.

Также существует классификация ПО по типу лицензирования, однако данный критерий практически не влияет на время разработки ПО. Данный фактор влияет только если в том плане, что средства для лицензирования также необходимо разрабатывать наряду с самой программой. Однако данное обстоятельство должно учитываться при проектировании и расчете размеров разрабатываемого ПО.

Таким образом, исходя из представленного обзора классификации ПО, не существует единой, которая учитывала бы все критерии. Каждая классификация учитывает свой аспект.

Результат анализа представлен в таблице 1. По строкам данной таблицы расположены категории (различные виды классификаций или критериев), а по столбцам различные варианты значений этих категорий.

Таблица 1. Критерии ПО по их классификации

Критерий	Значения критериев по сложности разработки (от простого к сложному)		
	Одноплатформенные	Переносимые	Кроссплатформенные
Использование сетевых ресурсов	Не используются	Частичное использование	Активное использование
Использование БД	Не используются	Частичное использование	Активное использование
Цель разработки	Для индивидуальных целей	На заказ	Для массовых продаж
Способ установки	Не требующие установки	Портативные	Требующие установки
Уровень языка разработки	Высокий	Средний	Низкий
Интерфейс пользователя	Нет интерфейса	Текстовый интерфейс	Графический интерфейс
Масштаб разработки	Одиночное приложение	Малый программный комплекс	Большой программный комплекс

Дополнение модели СОСОМО за счет увеличения числа факторов стоимости

Определенные на основе анализа классификаций ПО факторы можно использовать при расчете оценки СОСОМО на среднем и детальном уровне, а именно при расчете регулирующего фактора трудоемкости (РФТ). При расчете РФТ определяются значения факторов стоимости из таблицы. Факторы делятся на 4 категории:

- характеристики продукта - относятся к самому разрабатываемому продукту (надежность, размер БД, сложность продукта);
- характеристики аппаратного обеспечения - характеризуют аппаратную платформу, для которой производится разработка (ограничения быстродействия, памяти и т.д.);
- характеристики персонала - относятся к персоналу, который будет разрабатывать ПО (аналитические способности, опыт и т.д.);
- характеристики проекта - характеризуют проект разработки в целом (требования соблюдения графика разработки, инструментарий разработки, применение различных методов разработки) [1].

Критерии, описанные в таблице 1, подходят под следующие категории: характеристики продукта (использование сетевых ресурсов, использование БД, способ установки, интерфейс пользователя, уровень языка разработки и масштаб), характеристики аппаратного обеспечения (число платформ) и характеристики проекта (цель разработки). Факторов, попадающих в категорию характеристик персонала, нет.

В методике СОСОМО каждый фактор распределяется в соответствии с трудоемкостью на несколько категорий (от трех до шести). Если распределить определенные по классификации факторы по степени сложности, то получится результат представленный в табл. 2. Данная таблица соответствует таблице факторов стоимости из [1].

Таблица 2. Дополнительные базовые факторы оценки модели СОСОМО

Факторы стоимости	Рейтинг					
	Очень низкий	Низкий	Средний	Высокий	Очень высокий	Критический
Характеристики продукта						
Размер БД приложения		0.94	1.00	1.08	1.16	
Использование сетевых ресурсов		0.93	1.00	1.11		
Способ установки		0.90	1.00	1.10		
Интерфейс пользователя		0.75	1.00	1.13		
Масштаб		0.82	1.00	1.07		
Уровень языка разработки		0.76	1.00	1.18		
Характеристики аппаратного обеспечения						
Число платформ		0.79	1.00	1.12		
Характеристики проекта						
Цель разработки		0.81	1.00	1.15		

Коэффициенты для факторов определены оценочно, поскольку экспериментальных данных на текущем этапе имеется немного. При росте объема экспериментальных данных степень влияния факторов может уточняться.

Заключение

Таким образом расширение базового набора факторов стоимости модели СОСОМО критериями из основных видов классификации ПО было успешно произведено. Были проанализированы основные виды классификации ПО. На основе данного анализа были выявлены дополнительные базовые критерии для СОСОМО.

Как уже было сказано выше, все аспекты разработки ПО охватить невозможно и целью данной работы было лишь расширить базовый набор факторов. В перспективе необходимо разработать динамическую систему подбора факторов оценки СОСОМО для каждого конкретного случая разработки.

Библиографический список

1. Орлов С. А. Технологии разработки программного обеспечения : разработка сложных программных систем : учеб. для студ. вузов по спец. "Программное обеспечение вычисл. техники и автоматизир. систем", "Информатика и вычисл. техника" / С.А. Орлов. — 3-е изд. — СПб. [и др.] : Питер, 2004. — 526 с. : ил. — (Учебник для вузов). — ISBN 5-94723-820-9 : 144.87.
2. Системное программное обеспечение — электронная энциклопедия Wikipedia. URL: https://ru.wikipedia.org/wiki/Системное_программное_обеспечение (дата обращения — 30.01.2022).
3. Прикладное программное обеспечение — электронная энциклопедия Wikipedia. URL: https://ru.wikipedia.org/wiki/Прикладное_программное_обеспечение (дата обращения — 30.01.2022).
4. Werder, Karl, Wang, Hua-Ying. Towards a Software Product Industry Classification // New Trends in Software Methodologies, Tools and Techniques. Н. Fujita, G. A. Papadopoulos, IOS Press, 2016. ISBN 978-1-61499-674-3. DOI: 10.3233/978-1-61499-674-3-27
5. Макарова Н. В., Волков В. Б. Информатика: Учебник для вузов.— СПб.: Питер, 2011. — 576 с: ил. - ISBN 978-5-496-00001-7.

УДК 621.396.67; ГРНТИ 47.14.13

МОДЕЛИРОВАНИЕ МИКРОПОЛОСКОВОЙ АНТЕННЫ С ВЫСОКОЙ НАПРАВЛЕННОСТЬЮ ДЛЯ ПРИМЕНЕНИЯ В X-ДИАПАЗОНЕ

Е.П. Васильев, Нгуен Данг Хоп

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

Аннотация. Целью данной работы является разработка и моделирование элементов микрополосковой антенной решетки с использованием программного обеспечения HFSS «High Frequency Structure Simulator». Проводится сравнение характеристик двухэлементных и четырехэлементных патч-антенн. Оцениваются показатели качества последовательной, параллельной и последовательно-параллельной схем подключения антенн. Решается задача увеличения направленности и коэффициента усиления элементов антенной решетки.

Ключевые слова: микрополосковая антенна, коэффициент отражения, коэффициент усиления, коэффициент направленного действия, антенная решетка.

DESIGN AND SIMULATION OF MICROSTRIP PATCH ARRAY ANTENNA WITH HIGH DIRECTIVITY FOR X-BAND APPLICATIONS

E.G. Vasilyev, Nguyen Dang Hop

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

The summary. The aim of this paper is to design and simulate a rectangular microstrip patch array antenna using HFSS software "High Frequency Structure Simulator" and compare the performance of 2 elements and 4 elements patch arrays. Also comparisons are made between the performance of series, corporate and series-corporate feed network. Our goal is to obtain a high directivity with better gain and reduced losses, to be especially used for X band applications such as satellite communication, radar, medical applications, and other wireless systems.

Keywords: microstrip patch antenna, return Loss, gain, directivity, antenna array.

Развитие беспроводной связи и мультимедийных услуг требует конструирования и внедрения новых структур микрополосковых антенн (МПА) от миниатюрных электронных схем до антенных решеток, состоящих из тысяч МПА. Патч-антенны нашли широкое применение в космической связи благодаря своим преимуществам, таким, как отсутствие выступающих конструктивных элементов, совместимость с интегральной технологией, низкая стоимость изготовления и простота интеграции с распределительной системой [1].

МПА состоит из излучающей проводящей пластины (различной формы) на одной стороне диэлектрической подложки и заземляющего слоя на другой стороне, рис. 1. В различных системах связи и радиолокации используются микрополосковые антенные решетки (МАР). Они используются для синтеза требуемого конструктивного варианта миниатюрной антенны, который не может быть достигнут с помощью одного элемента МПА.

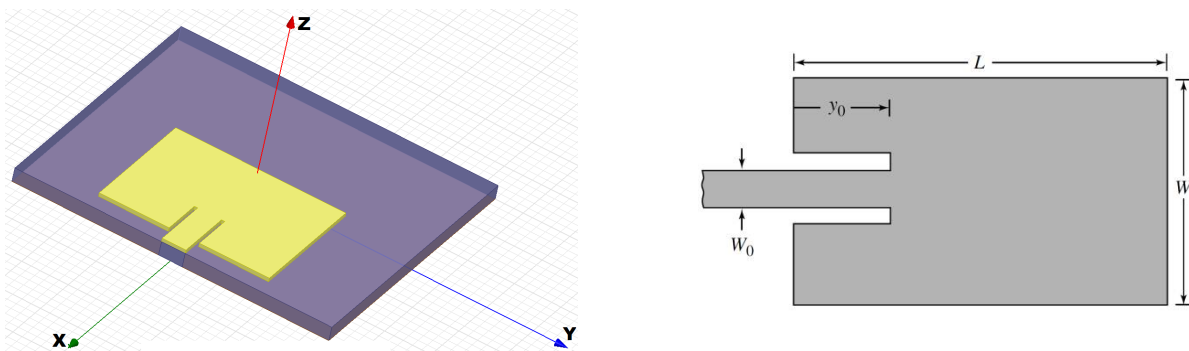


Рис. 1. Конструкция МПА

Кроме того, МАР обеспечивает сканирование луча, позволяет увеличить направленность и коэффициент усиления. МПА могут интегрироваться, соединяясь по одной линии (последовательная схема, рис.2, а) или по нескольким линиям (параллельная схема, рис.2, б и последовательно-параллельная схема, рис. 2, в).

Конструирование МПА

Для прямоугольного участка длина L обычно составляет $0,3333\lambda_0 < L < \lambda_0$, где λ_0 – длина волны в свободном пространстве (рис.1). МПА обычно очень тонкая, так что толщина патча t намного меньше λ_0 . Диэлектрическая проницаемость подложки ϵ_r находится в пределах от 2,2 до 12. Толщина h диэлектрической подложки находится в диапазоне $0,003\lambda_0 \leq h \leq 0,05\lambda_0$ [4]. Для эффективного излучения ширину W и длину L МПА можно определить как:

$$W = \frac{c}{2f_0 \sqrt{\frac{\varepsilon_r + 1}{2}}}; L = L_{\text{эфф}} - 2\Delta L;$$

$$\varepsilon_{\text{эфф}} = \frac{\varepsilon_r + 1}{2} + \frac{\varepsilon_r - 1}{2} \left[1 + 12 \frac{h}{w} \right]^{1/2}; L_{\text{эфф}} \approx \frac{c}{2f_0 \sqrt{\varepsilon_{\text{эфф}}}}; \Delta L = 0.412h \frac{(\varepsilon_{\text{эфф}} + 0.3) \left(\frac{w}{h} + 0.624 \right)}{(\varepsilon_{\text{эфф}} - 0.258) \left(\frac{w}{h} + 0.8 \right)},$$

где ε_r — относительная диэлектрическая проницаемость, f_0 — резонансная частота. На рисунке 1 показана одноэлементная МПА, которая была разработана для рабочей частоты 10 ГГц с использованием подложки FR4 ($\varepsilon_r = 4,4$, высота $h = 0,76$ мм). Размер прямоугольного резонатора составил 6,9 мм x 9,12 мм, расстоянием для согласования с 50-омной подводящей линией $y_0 = 2,29$ мм. Ширина подводящей линии $W_0 = 1,27$ мм [3].

Конструктивные варианты элементов МАР

Схемы подключения

На рисунке 2 приводятся три варианта соединения МПА при конструировании полотна МАР.

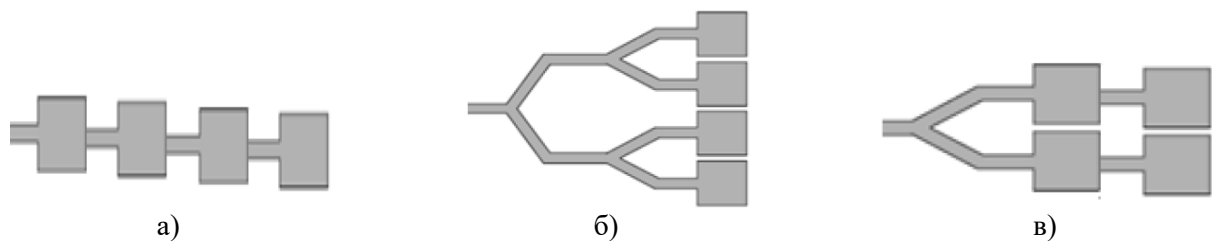


Рис. 2. (а) последовательное подключение; (б) параллельное подключение; (в) последовательно-параллельное подключение

Конструкции элементов МАР 2x1

Для EM-моделирования использованы размеры МПА, полученные для рисунке 1. Исследованы два метода подключения, один из которых представляет собой последовательное подключение с использованием четвертьволнового трансформатора между МПА, а другой — параллельное подключение с использованием Т-образного делителя мощности с подводящей линией 50 Ом. На рисунке 3 (а, б) показаны конструкции элементов МАР реализованные в среде HFSS.

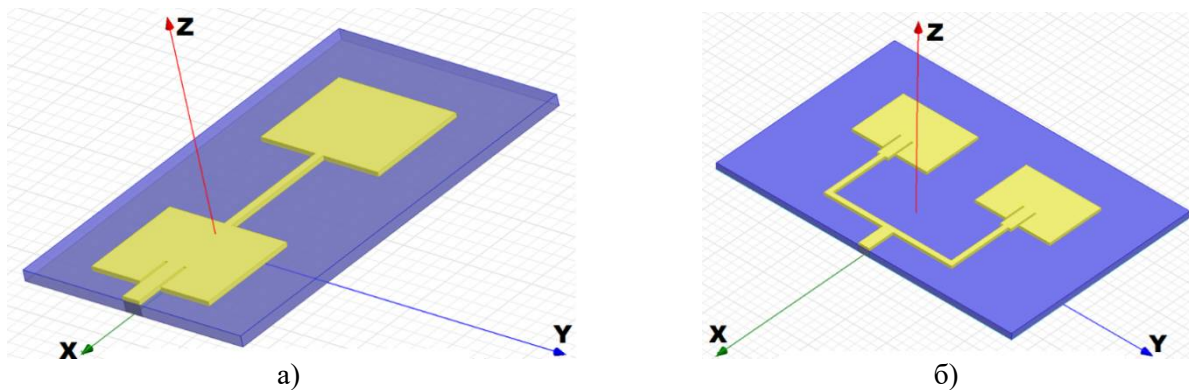


Рис. 3. Элементы МАР 2x1: (а) с последовательным, (б) с параллельным подключением

Конструкции элементов МАР 4x1

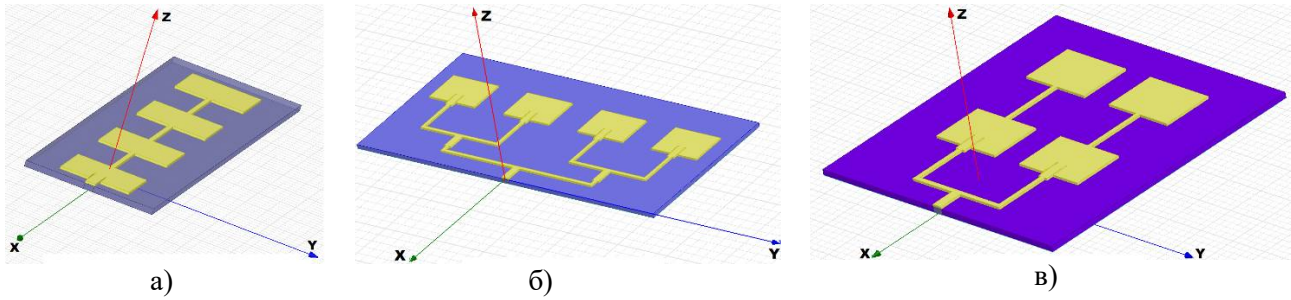


Рис. 4. Элементы МАР 4x1: (а) с последовательным, (б) с параллельным, (в) с последовательно-параллельным подключением МПА

Для исследования элементов МАР 4×1 использованы схемы с последовательным, параллельным и последовательно-параллельным подключением, как показано на рисунке 4 (а, б, в) соответственно. Расстояние между МПА составляет $\lambda / 2$.

Результаты моделирования

Электродинамическое моделирование методом конечных элементов, приведенных на рисунках 3, 4 элементов МАР, реализовано с использованием программы HFSS.

Микрополосковая МПА

На рисунке 5 приведены основные характеристики одиночной МПА. Антенна резонирует на частоте 10,09 ГГц с коэффициентом отражения $S(11) = -12,48$ дБ (рис. 5, а).

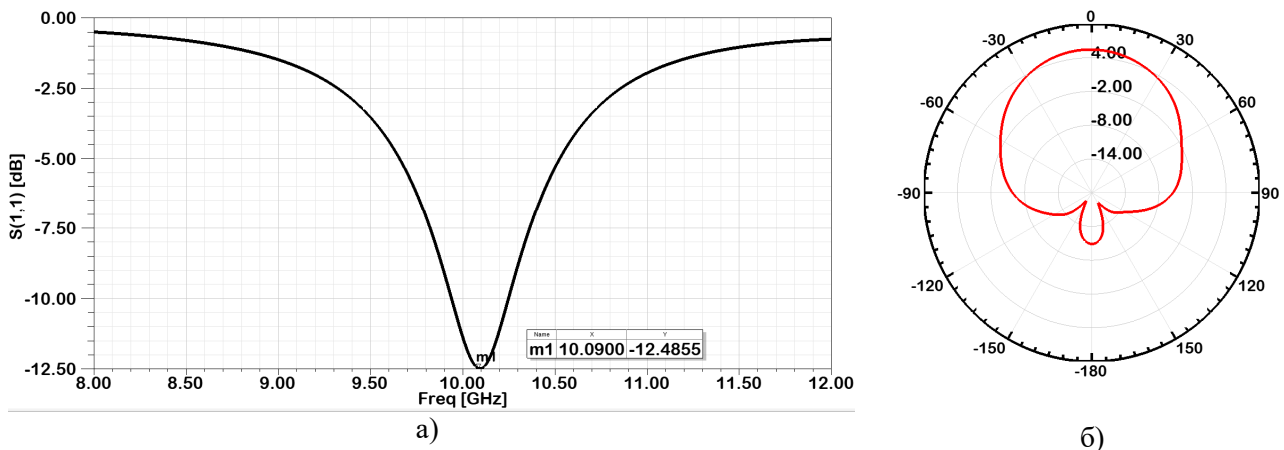


Рис. 5. (а) Коэффициент отражения, (б) диаграмма направленности одиночной МПА

Коэффициент направленного действия антенны, согласно рисункам 5, б, составляет 7,19 дБ при азимуте $\varphi = 90^\circ$ для рабочей частоты. Ширина луча по половине мощности составляет около 85° .

Элементы МАР 2x1

Расчет коэффициента отражения $S(1,1)$ выполнен для элементов МАР 2x1 с последовательной и параллельной схемой подключения. На рисунке 6 показано, что коэффициенты отражения при последовательном подключении МПА составляют -24,27 дБ на частоте 10,04 ГГц, а для параллельного подключения - 24,37 дБ на частоте 9,86 ГГц.

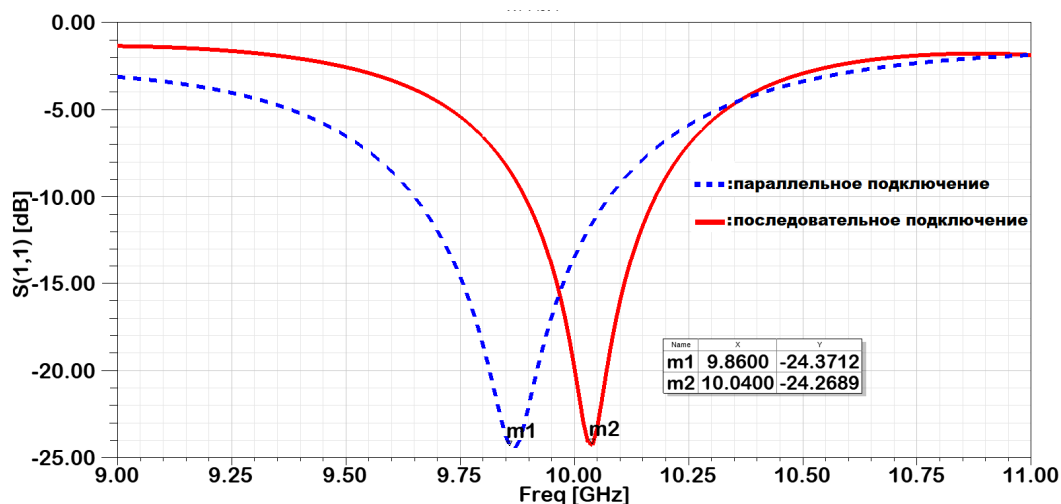


Рис. 6. Коэффициент отражения элементов МАР 2x1

Некоторые параметры антенны, такие как коэффициент усиления, направленность и ширина луча по уровню половины мощности приведены в таблице 1. Из таблицы видно, что коэффициент усиления и ширина луча элемента МАР 2x1 с параллельным подключением лучше, а коэффициент направленного действия хуже, чем у последовательного подключения.

Таблица 1. Параметры элемента МАР 2x1 с последовательным/параллельным подключением

Характеристика антенны	Двухэлементной патч-антенны	
	Последовательное подключение	Параллельное подключение
Коэффициент усиления	6,173 дБ	6,442 дБ
Коэффициент направленного действия	8,852 дБ	8,422 дБ
Ширина половины мощности	95°	49°

Диаграмма направленности антенны позволяет количественно оценить ширину луча, форму луча, направленность и излучаемую мощность. Диаграммы направленности элементов МАР 2x1 с последовательным и параллельным подключением показаны на рисунке 7.

Ширина луча элемента МАР с параллельным подключением меньше, чем у последовательного подключения при $\varphi = 90^\circ$.

Расчет параметра $S(1,1)$ выполнен для элементов МАР 4x1 с последовательной, параллельной и последовательно-параллельной схемой подключения. На рисунке 8 показано, что коэффициенты отражения с последовательным подключением МПА составляют -11,29 дБ на частоте 10,02 ГГц. Для параллельного и последовательно-параллельного подключения коэффициенты отражения составляют -22,2 дБ на частоте 9,82 ГГц и -32,74 дБ на частоте 9,98 ГГц соответственно.

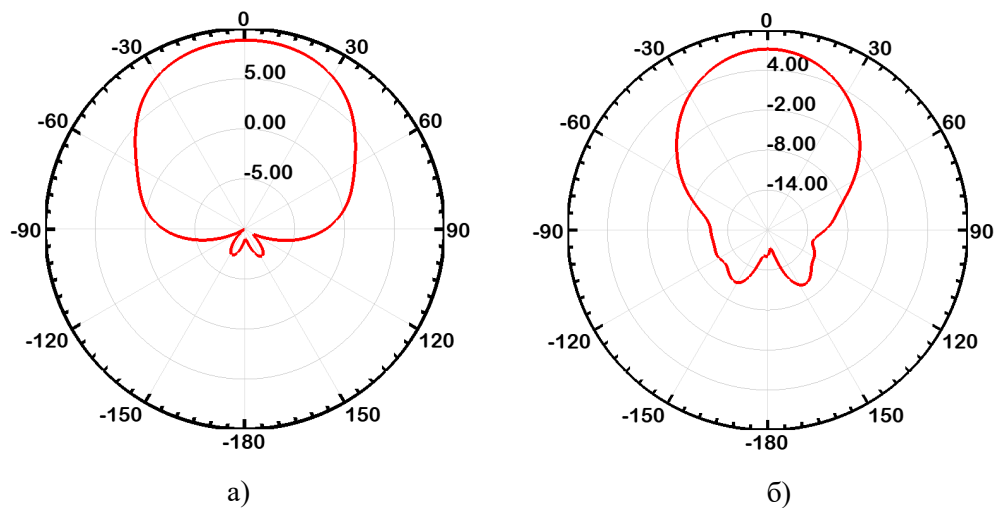


Рис. 7. Диаграмма направленности элементов МАР 2x1: (а) с последовательным, (б) с параллельным подключением

Элементы МАР 4x1

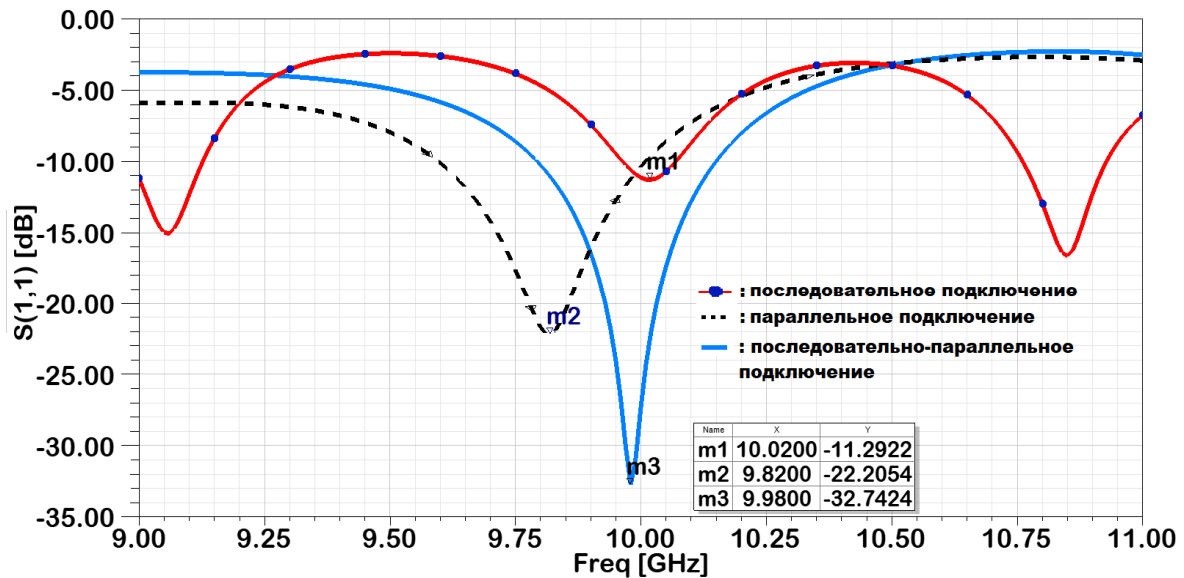


Рис. 8. Коэффициент отражения $S(1,1)$ элементов МАР 4x1

Согласно рисунку 8, при изменении схемы подключения МПА, резонансная частота не сильно смещается, но коэффициенты отражения претерпевают значительные изменения. $S(1,1)$ достигает минимального значения для последовательно-параллельной схемы подключения.

Основные характеристики элементов МАР 4x1 приведены в таблице 2.

Таблица 2. Параметры элементов МАР 4x1 с последовательным, параллельным и последовательно-параллельным подключением

Характеристика антенны	Двухэлементной патч-антенны		
	Последовательное подключение	Параллельное подключение	Последовательно-параллельное подключение
Коэффициент усиления	8,813 дБ	8,841 дБ	8,503 дБ
Коэффициент направленного действия	11,812 дБ	11,12 дБ	11,085 дБ
Ширина половинной мощности	105°	24°	60°

Диаграммы направленности элементов МАР 4×1 с последовательным, параллельным и последовательно-параллельным подключением, показаны на рисунке 9.

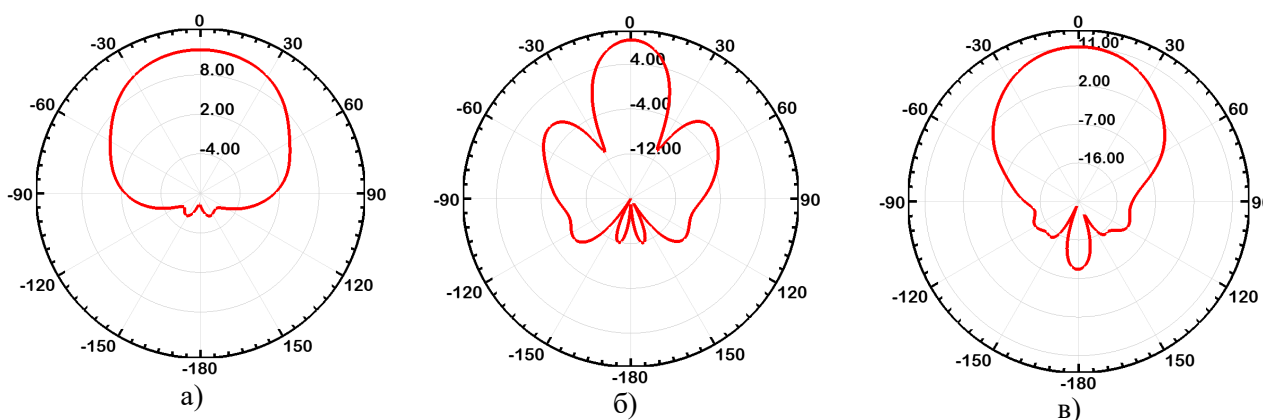


Рис. 9. Диаграммы направленности элементов МАР 4×1 : (а) с последовательным, (б) с параллельным, (в) с последовательно-параллельным подключением

Отметим, что элемент МАР с параллельным подключением имеет более узкую ширину луча, но при этом увеличивается амплитуда боковых лепестков по сравнению с другими методами подключения при $\varphi = 90^\circ$.

Выводы

В радиолокации и спутниковой связи МПА и МАР позволяют реализовать преимущества миниатюрного и технологичного исполнения радиоэлектронных средств с одновременной возможностью получения качественных параметров.

Для МАР с увеличением количества МПА усиление и направленность увеличиваются независимо от метода подключения (последовательный, параллельный или последовательно-параллельный). Однако, проведенные исследования показали, что элемент МАР 4×1 с параллельным подключением обеспечивает наилучшие параметры в X-диапазоне: узкая ширина луча (24° при $\varphi = 90^\circ$), коэффициент отражения $-22,205$ дБ, коэффициент направленного действия $11,12$ дБ и коэффициент усиления $8,841$ дБ, достигаются на частоте $9,82$ ГГц.

При необходимости реализации широкой диаграммы направленности элемент МАР 4×1 с последовательной схемой имеет значительное преимущество (ширина диаграммы по уровню половинной мощности 105°)

При выборе подложек с другими параметрами возможно улучшение приведенных выше параметров.

Библиографический список

1. С. А. Balanis. (2005). Antenna theory: analysis and design (3rd ed.).
2. R. Garg, Microstrip antenna design handbook. Boston, Mass. [u.a.]: Artech House, 2001.
3. Панченко Б. А., Нефедов Е. И. Микроразомкнутые антенны. – М: Радио и связь, 1986.
4. Md. Tanvir Ishtaique"ul Huque, Md. Kamal Hosain, Md. Shihabul Islam and Md. Al" Amin Chowdhury. Design and performance analysis of microstrip array antennas with optimum parameters for X band applications. International Journal of Advanced Computer Science and Applications, Vol. 2, No. 4, 2011.

УДК 621.372.8.049.75; ГРНТИ 47.14.13

АНАЛИЗ КОНСТРУКТИВНЫХ ТИПОВ ФИЛЬТРОВ НА СВЯЗАННЫХ ЛИНИЯХ

Е.П. Васильев, Лыу Тхань Дат

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

Аннотация. В данной работе рассмотрены различные конструктивные типы фильтров на связанных полосковых линиях. Показаны тенденции модернизации топологических решений для фильтров с точки зрения оптимизации их параметров. Продемонстрированы возможные применения фильтров на связанных линиях.

Ключевые слова: фильтр на связанных линиях, топологические решения, применение фильтров на связанных линиях.

ANALYSIS OF CONSTRUCTION TYPES OF FILTERS ON COUPLED LINES

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, various constructive types of filters on coupled strip lines are considered. The tendencies of modernization of topological solutions for filters from the point of view of optimization of their parameters are shown. The application of filters on coupled lines is given.

Keywords: filter on coupled lines, topological solutions, application of filters on coupled lines.

Конструктивно-топологические варианты фильтров на связанных линиях

Фильтры на связанных линиях (СЛ) занимают в микроволновой технике весьма важное место, что обусловлено их уникальными свойствами, позволяющими реализовать АЧХ с широким диапазоном изменения основных показателей качества [1–3]. Классическая топологическая реализация полосового фильтра (ПФ), рассмотренная в работах Кона [4], претерпела существенные изменения, как с точки зрения пространственно-топологической реализации и функциональных возможностей, так и за счет совершенствования теоретических методов анализа и синтеза (рис. 1).

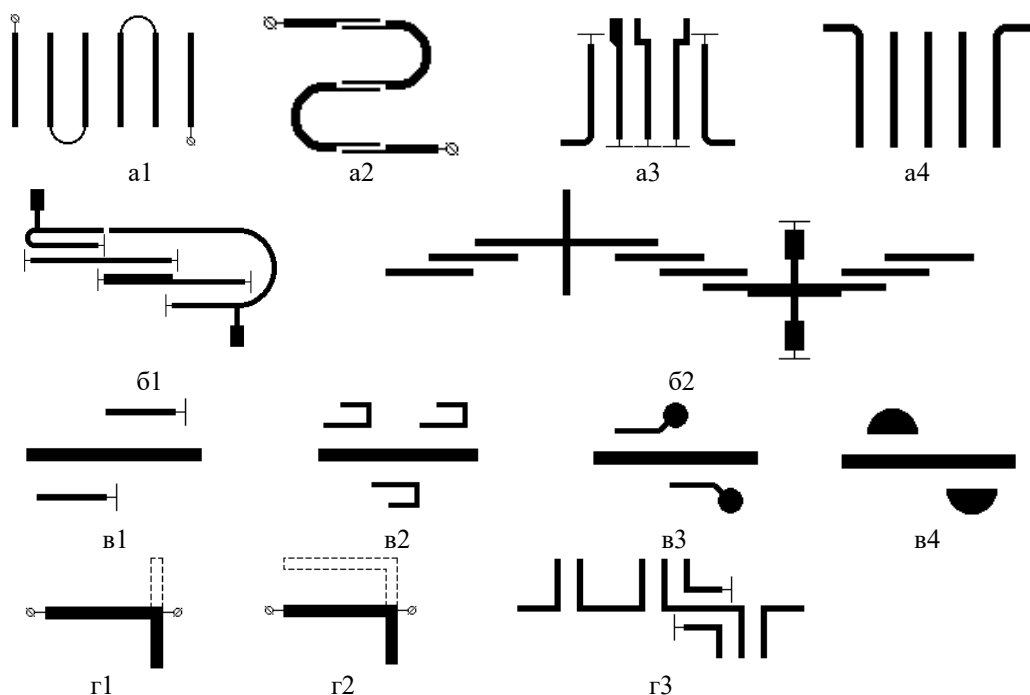


Рис. 1. Топологические варианты фильтров на СЛ

Концепция развития рассматриваемого подкласса фильтров диктуется современными тенденциями и потребностями импульсной связи, радиолокации, цифровой обработки широкополосных сигналов и микроволновой аппаратуры специального назначения. При этом постоянно решаются проблемы снижения массогабаритных показателей и улучшения параметров АЧХ за счет совершенствования конструктивных решений на основе теоретических и экспериментальных исследований. С другой стороны, новые конструктивные решения генерируются задачами расширения функциональных возможностей за счет отхода от традиционных применений микроволновых фильтров. Так оригинален подход к использованию ПФ на СЛ для создания компактных линий задержки (ЛЗ).

В частности, в отличие от иных подходов, реализованы конструктивные варианты ЛЗ на сорока полуволновых микрополосковых резонаторах с временем задержки 16 пс, потерями на центральной частоте 14 ГГц – 17,5 дБ и полосой пропускания по уровню 3 дБ – 305 МГц. Нетривиально решены вопросы пассивной стабилизации времени задержки при температурных перепадах за счет подбора материалов и новых конструктивных решений.

Большим резервом по обработке импульсных сверхширокополосных сигналов обладают пассивные микроволновые устройства, за счет их высокой линейности. Это важно для обработки и передачи с высокой скоростью и малыми потерями шумоподобных сигналов нано- и пикосекундной длительности, спектр которых простирается до нескольких гигагерц. К таким пассивным устройствам относятся фазовые фильтры на СЛ. При этом расширение возможностей данных фильтров по обработке широкополосных сигналов и, в частности, для защиты информации в каналах связи приводит к необходимости решения комплекса вопросов анализа и конструктивного синтеза.

Другой подход связан с использованием СЛ, как элементной базы полосковых устройств обработки топологически модулированных сигналов. Примером таких сигналов могут служить импульсы четной и нечетной мод или пакеты мод с различной структурой силовых линий в плоскости поперечной направлению распространения. Использование топологически модулированных полей открывает возможность выполнения логических операций с предельной скоростью, зависящей лишь от скорости передачи энергии в линии и от величин паразитных реактивностей, меньших, чем в полупроводниковых схемах, время задержки в которых определяется еще и подвижностью носителей зарядов. Таким образом, появляется уникальная возможность по определению фундаментальных пределов в скорости обработки электромагнитных сигналов с использованием микроволновых пассивных устройств на СЛ.

Традиционные фильтры на СЛ имеют не оптимальную длину области связи с точки зрения реализации симметричной АЧХ. Это обстоятельство стимулировало проведение ряда исследовательских работ направленных на получение оптимальных значений величин смещения резонаторов друг относительно друга, что позволяет обеспечить либо симметричную АЧХ с максимальной прямоугольностью, либо максимальную крутизну низкочастотного или высокочастотного склонов АЧХ. При этом всегда существует единственное значение сдвига резонаторов, которое обеспечивает симметричную форму АЧХ и максимальную прямоугольность характеристики.

В то же время, немаловажным является учет особенностей используемых частотных поддиапазонов. Так в метровом и дециметровом диапазонах особо остро стоит проблема миниатюризации микроволновых фильтров. Решения задач миниатюризации могут достигаться за счет использования изгибов и скручивания резонаторов в более компактные формы, применения подложек с высокой диэлектрической проницаемостью и на основе резонаторов на неоднородных полосковых структурах. Поэтому в длинноволновой части дециметрового диапазона используются малогабаритные фильтры на П-образных (шпилечных) противо и сонаправленных резонаторах. При этом фильтры на сонаправленных шпилечных резонаторах имеют по сравнению с традиционными решениями более низкую чувствительность выходных параметров при высокой избирательности за счет формирования полюсов вблизи по-

лосы пропускания. Общий недостаток данных фильтров – близость ложных полос пропускания, из которых первая может наблюдаться на частоте $2f_p$ из-за разности фазовых скоростей четного и нечетного типов возбуждения. Именно поэтому получили развитие методики расчета и проектирования малогабаритных ПФ с удаленными ложными полосами пропускания (рис. 1, а1, а2) и укороченными областями связи. Причем в конструкциях на рис. 1, а1, а2 расстояние между паразитными полосами существенно зависит от перепада импеданса различных участков резонаторов.

Большое распространение в микроволновых комплексах находят различные варианты решетчатых, встречно-стержневых и гребенчатых конфигураций фильтров на СЛ. Данные конструктивно-топологические варианты широко используют СЛ с воздушным заполнением и компланарные линии для реализации узкополосных селективных устройств с низкими потерями в полосе пропускания. В тоже время жесткость данных конструктивно-технологических решений повышает их надежность при воздействии дестабилизирующих факторов.

Результаты сравнения различных типов аппроксимаций АЧХ (Чебышева, Баттерворта, Золотарева-Кауэра, фильтров с идентичными резонаторами) показывают, что при полосе пропускания $<5\%$, аппроксимация типа Золотарева-Кауэра дает существенные преимущества по потерям в полосе пропускания и коэффициенту прямоугольности. Поэтому приведенные в работе топологические варианты узкополосных ПФ с АЧХ типа Золотарева-Кауэра (рис. 1, а3 – б2) и методики тождественных преобразований Куроды и Джеффе позволяют сконструировать фильтры с улучшенными показателями качества, к которым можно отнести: потери в полосе пропускания, коэффициент прямоугольности и массогабаритные данные. Настройка микроволновых фильтров на центральную частоту в значительной степени определяется длиной шлейфов и участков СЛ. Учитывая это, необходимо с высокой степенью точности определять эффективную диэлектрическую проницаемость в соответствующих сечениях СЛ.

На практике при конструктивно-топологической реализации микроволновых фильтров возникает многовариантная задача получения эквивалентной схемы путем тождественных преобразований НЧ-прототипа, которая позволила бы наиболее эффективно реализовать те или иные директивные параметры. При этом применение интерактивного процесса проектирования на основе направленного синтеза конструктивных решений приводит в ряде случаев к реализации параметров близких к предельным. Так топологические варианты ПФ с участками СЛ $\Lambda/8$ (рис. 1, г3) обеспечивают уменьшение площади интегральной схемы СВЧ при высоком уровне заграждения, а совмещение в оконечных секциях микрополосковой и щелевой линии разомкнутой на концах позволяет существенно увеличить полосу пропускания.

Другое направление развития конструктивных форм связано с реализацией АЧХ полосо-запирающих фильтров (ПЗФ), которые отличаются существенным разнообразием пространственных комбинаций канонических звеньев и шлейфов. На рис. 1, в1 – г2 приведена лишь небольшая часть конструктивных типов ПЗФ на связанных и меандровых линиях. Реализация требуемой АЧХ для данного подкласса ПЗФ связана с решением задач синтеза на основе методов эквивалентных схем, тождественных преобразований и частичных емкостей. При этом переход к конструктивным параметрам осуществляется по рассчитанным значениям частичных емкостей решетки СЛ.

Логика усложнения функциональных возможностей путем целенаправленной комбинации рассмотренных выше конфигураций ПФ, ПЗФ, а также канонических звеньев приводит к многоканальным фильтрам. При этом процесс эвристического формотворчества наиболее эффективно реализуется на основе использования автоматизированных систем, позволяющих в графическом режиме обеспечивать многовариантные пространственные комбинации различных типовых фильтров и канонических звеньев. Требуемый вид АЧХ, даже от-

личный от классических аппроксимаций, реализуется на основе универсальных методов параметрического синтеза.

Некоторые вопросы применения фильтров в микроэлектронных функциональных устройствах СВЧ

В настоящее время большое распространение получили гибридно-интегральные, квази-монокристаллические и монокристаллические конструкции микроэлектронных устройств (МЭУ) и микроэлектронных сборок (МСБ) СВЧ, в которых полупроводниковые и ферритовые структуры сопряжены с монокристаллической интегральной колебательной системой на полосковых линиях (ПЛ). В таких схемах возможен оптимальный подбор характеристик каждого узла без нарушения свойств других элементов схемы (рис. 2).

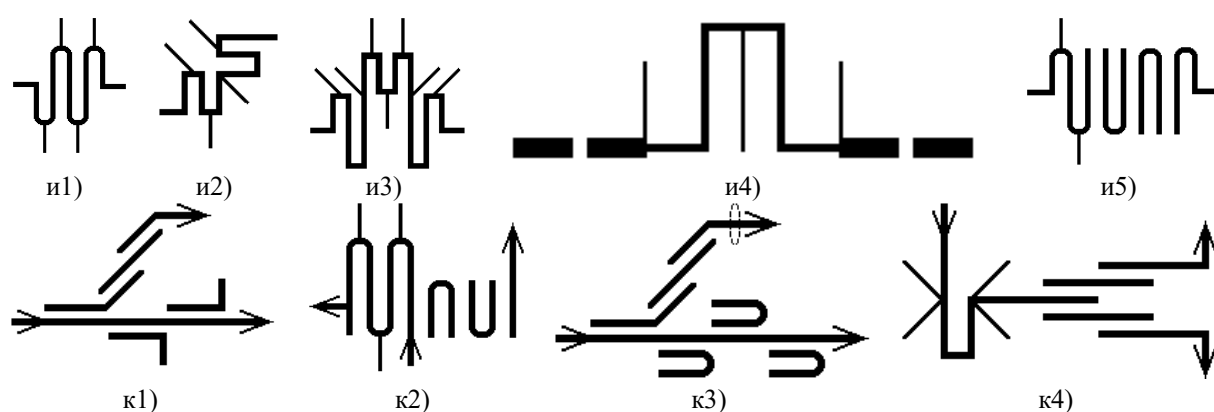


Рис. 2. Топологии ПЗФ и многоканальных фильтров

Приведенный на рисунке 3, а усилитель содержит два варактора, один из которых усиливает входной сигнал, а другой осуществляет умножение частоты накачки с 2,125 ГГц до 8,5 ГГц при мощности на выходе 10 мВт. Оба варактора связаны между собой с помощью ПФ на связанных микрополосковых линиях.

Схематически изображенные на рисунке 3, б, в (1 – вход сигнала; 2 – диод; 3 – ПФ; 4 – выход частоты накачки) наиболее типичные интегральные полупроводниковые параметрические усилители используются на различных участках СВЧ диапазона. Для подавления шумов генератора накачки на лавинопролетном диоде в тракт накачки включен ПФ. Особенностью представленных схем является соблюдение единого принципа разработки для различных частотных диапазонов.

Принципиальная схема усилителя, приведенная на рисунке 3, г, (1 – активный элемент с отрицательным сопротивлением; 2 – согласующий ПФ; 3 – циркулятор; 4 – источник сигнала; 5 – нагрузка), в котором в качестве согласующей цепи применен ПФ, сконструированный на базе СЛ, также содержит циркулятор и активный элемент с внутренним отрицательным сопротивлением.

В качестве примеров на рисунке 3, д (1 – ФНЧ; 2 – ПФ; 3 – блокировочная короткозамкнутая линия; 4 – варактор; 5 – система блокировки источника смещения) и рисунке 3, е показаны топологии варакторного умножителя частоты и модуля фазированной антенной решетки, в которые входят ПФ на СЛ.

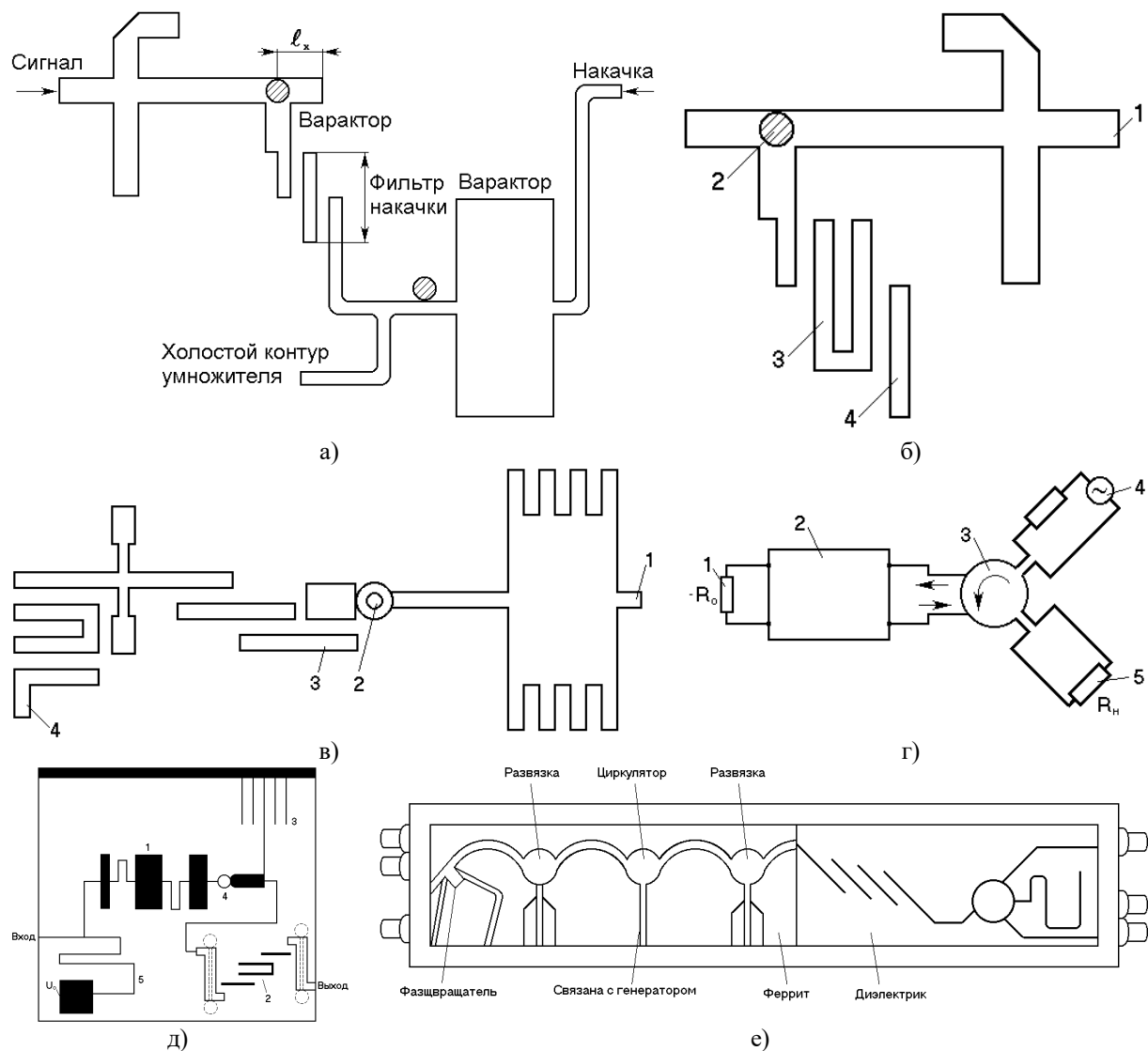


Рис. 3. Применение фильтров на СЛ в интегральных схемах СВЧ

В **заключении** отметим, что при разработке топологии рассмотренных устройств учитывают требования минимизации неоднородностей, а также требования к плотности размещения полосковых линий и других элементов интегральных схем СВЧ. Важно также учитывать требования к точности конструктивно-технологических параметров, к минимальным размерам полосковых линий и зазорам между ними. При серийном производстве приведенных конструкций СВЧ-устройств процент выхода годных в значительной степени зависит от воспроизводимости выходных характеристик микроволновых фильтров.

Библиографический список

1. Горбачев А.П. Синтез микроволновых устройств на связанных линиях передачи : монография / А.П. Горбачев. – Новосибирск : Изд-во НГТУ, 2010 – 414 с. (Серия «Монографии НГТУ»).
2. Авгари Ф.С.А., Кубалова А.Р., Максимов А.П. Микрополосковый эллиптический фильтр с реализацией на резонаторах одинаковой электрической длины // Труды учебных заведений связи. 2017. т. 3. № 4. с. 5-15.
3. Васильев Е. П. Анализ методов моделирования микроволновых устройств на примере полосового фильтра с расширенной полосой заграждения // Вестник Рязанского государственного радиотехнического университета. 2020. №72. С. 62-70.
4. Cohn S.B. Parallel-coupled transmission line-resonator filters // IRE Trans. microwave theory tech. MTT-6. No. 4. 1958. P. 223-231.

УДК 681.31; ГРНТИ 50.53

МОДЕЛИ И МЕТОДЫ ОЦЕНКИ КАЧЕСТВА И НАДЕЖНОСТИ АЛГОРИТМИЧЕСКИХ ПРОЦЕССОВ ИНФОРМАЦИОННЫХ СИСТЕМ

А.И. Таганов, А.А. Кокунов, М.И. Цыцына

*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.

MODELS AND METHODS FOR ASSESSING QUALITY AND RELIABILITY ALGORITHMIC PROCESSES OF INFORMATION SYSTEMS

A.I. Taganov, A.A. Kokunov, M.I. Tsitsyna

*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.

Keywords: information system, algorithmic process, models of algorithmic processes.

Введение

При системном анализе функционирования многих систем с дискретным поведением зачастую используется подход, заключающийся в рассмотрении системы с единых позиций на основе представления структуры системы и ее поведения в виде алгоритмического процесса (АП) [1,3-5]. При этом, под алгоритмическим процессом понимается развернутая во временном пространстве последовательность действий, операций или работ, выполнение которых обеспечивает достижение цели, т. е. получение конечного результата: продукции, информации, знания и т.п. Примерами рассматриваемых АП могут являться процессы функционирования автоматизированных систем управления, процессы выполнения научно-исследовательских и конструкторских работ, технологические процессы и т.д. Использование универсальной алгоритмической формы представления поведения дискретных систем в форме АП открывает возможности для исследования проблемы оценки качества и надежности информационных систем (ИС) на этапе их проектирования. При этом общие вопросы повышения качества и надежности функционирования ИС могут решаться уже на уровне оценки и оптимизации надежности отдельных алгоритмических процессов таких ИС. Также следует отметить, что вопросы оценки качества АП информационных систем представляют самостоятельную проблемную задачу, требующую самостоятельного рассмотрения. Эта проблема оценки качества отчасти рассмотрена в работах [1,2,4,7,10] и др., где приведены формализованные подходы к выполнению процедуры оценки рабочих процессов программной инженерии на этапе аттестации процессов предприятия. Поэтому основное внимание в настоящей работе направлено на проблему обеспечения надежности алгоритмических процессов на этапе проектирования информационных систем.

Анализ подходов к оценке надежности алгоритмических процессов

В самом начале рассмотрения возможных подходов к проблеме оценки надежности алгоритмических процессов ИС целесообразно выделить классификационные признаки существующих алгоритмических процессов. Так алгоритмические процессы ИС можно классифицировать по структуре на регулярные АП и нерегулярные АП, которые отличаются на-

личием перекрестных обратных связей, в нерегулярных процессах они присутствуют, а в регулярных нет. Классифицировать АП можно по ресурсам, выделенным на выполнение процессов: ограниченные ресурсы и неограниченные ресурсы. При этом, как видно из этой классификации, что при ограниченных ресурсах лимитируются стоимостные и/или временные показатели, при исчерпании которых АП прерывается.

Классифицировать АП можно также по характеру возникающих ошибок: с четким и нечетким характером ошибок. Здесь АП с нечетким характером ошибок имеют неявную границу между правильным и неправильным выполнением, т.е. заранее сложно определить, что является ошибкой функционирования, а что нет. При четком характере ошибок существует четкая граница между состояниями правильного и ошибочного выполнения.

По стационарности структуры АП можно классифицировать на процессы с фиксированной и гибкой структурой. В процессах с фиксированной структурой последовательность выполнения неизменна и не зависит от стоимостных и временных показателей. Также по стационарности исходных данных можно выделить процессы с постоянными и переменными характеристиками. По аналогии с стационарностью структуры – в процессах с постоянными характеристиками характеристики надежности элементов не зависят от времени выполнения какого-либо фрагмента АП или от количества его повторов.

Также важной является классификация АП по концепции учета ошибок. В этом случае АП можно разделить на одномерные и многомерные процессы. В одномерных АП возможны два исхода выполнения операций: с ошибками или без ошибок, т.е. ошибки, возникающие при работе процесса, не дифференцируются. В многомерных алгоритмических процессах возможны случаи множества исходов: без ошибок, ошибки первого типа, ошибки второго типа и т.д. Поэтому многомерными АП можно назвать такие процессы функционирования, при выполнении которых могут вноситься, обнаруживаться и устраняться ошибки разных типов [3,5].

Важным отличием методов оценки надежности АП от методов оценки структурной надежности сложных систем является возможность прогнозирования надежности АП с учетом того, что система может обнаруживать и исправлять ошибки в ходе выполнения операций. В теории надежности человеко-машинных систем предложено описывать АП в виде композиции основных и вспомогательных операций. Основными (рабочими) являются операции, невыполнение или выполнение с ошибками которых приводит к неправильному выполнению АП. Вспомогательными (контрольными) являются операции, которые вводятся в алгоритм функционирования системы с целью промежуточного контроля и повышения ее надежности. Часто встречающиеся комбинации рабочих и контрольных операций выделяются в типовые структуры. Для каждой такой структуры разработана математическая модель, которая позволяет заменять ее на единственную рабочую операцию с эквивалентными вероятностно-временными характеристиками.

С учетом выше сказанного, укрупненная структурная классификация математических моделей оценки надежности АП программных средств информационных систем представлена на рисунке 1. Здесь моделирование регулярных АП может осуществляться с использованием языка алгоритмических алгебр и их описание будет представлять собой суперпозицию последовательных, параллельных, ветвящихся и циклических структур. Нерегулярные АП моделируются в виде вероятностных графов, которые часто содержат перекрещивающиеся циклы, однако согласно теореме о регуляризации любой нерегулярный алгоритм за конечное число шагов может быть преобразован к регулярному виду. Процесс регуляризации имеет очевидные недостатки, а именно большую трудоемкость и громоздкость полученных форм АП. Именно поэтому для использования на практике необходима совокупность моделей надежности для случаев регулярных АП и нерегулярных АП.

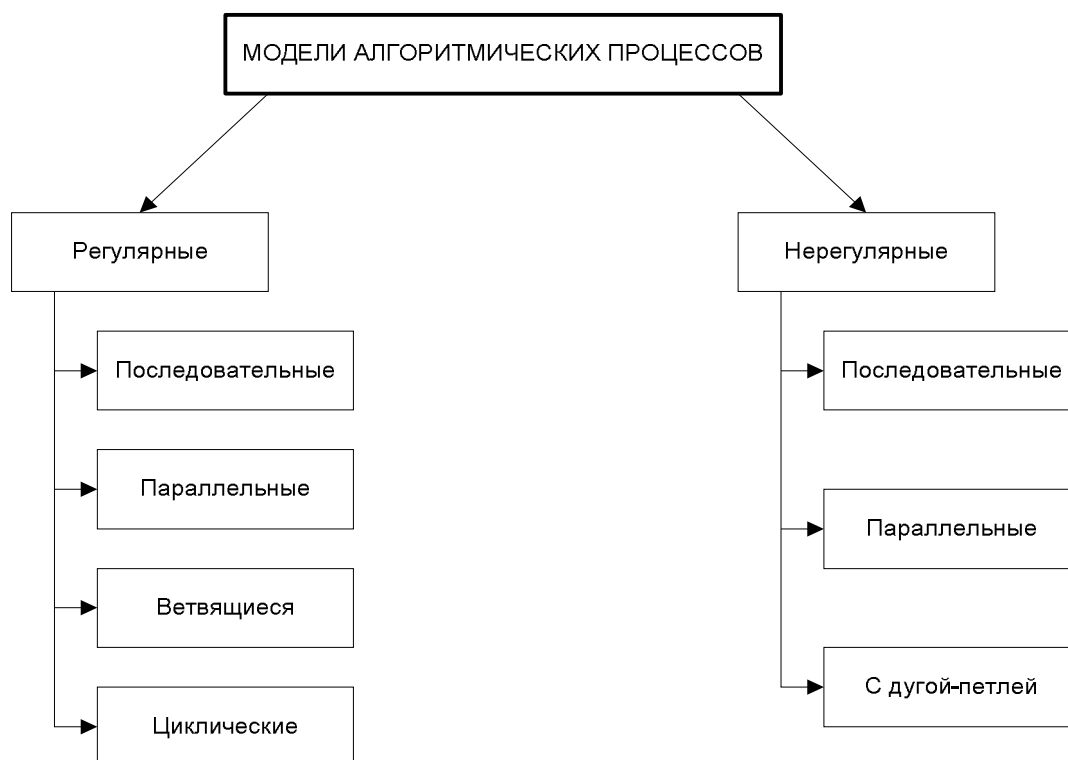


Рис 1. Модели оценки надежности алгоритмических процессов программных средств информационных систем

Известные методы построения моделей надежности АП обычно опираются на аппарат классической теории вероятностей и требуют исходных данных о вероятностно-временных характеристиках операций, входящих в АП [3,9]. Такие исходные данные получают путем проведения трудоемких экспериментальных исследований, которые, к тому же, не всегда возможны. Проектировщики подобных систем в ряде случаев могут использовать экспертную информацию, которая учитывает совокупность факторов, влияющих на функционирование системы [5-7]. Одним из подходов для работы с неопределенной исходной информацией является использование аппарата теории нечетких множеств, предложенной Заде [8] и в дальнейшем развитой в работах [3,5]. Применение этого аппарата в теории надежности позволяет обобщить известные вероятностные модели на случай заданных в виде нечетких чисел исходных данных. Также следует отметить, что использование процедур нечеткого логического вывода позволяет использовать экспертные базы знаний для учета зависимостей нечетких исходных данных от влияющих факторов.

Проблема оценки качества и надежности алгоритмических процессов имеет свою историю становления, решения и развития. Так в 70-х годах прошлого века появились первые работы советских ученых посвященных моделированию надежности АП. Для этих работ было характерна оценка показателей надежности АП с помощью типовых структур из основных и вспомогательных операций и выбор в качестве этих показателей вероятности безошибочного выполнения АП, времени и стоимости. Также особенностью этих работ было появление учета ошибок 1-го и 2-го родов, т.е. ошибок «ложная тревога» и «пропуск цели». В 80-х годах были предложены модели оценки достоверности обработки информации в АСУ с использованием аппарата теории вероятности и графов событий.

В теоретическом плане наиболее прогрессивными оказались работы А. Губинского [6]. На основе его работ были предложены новые подходы к оценке надежности АП, которые отражены в работах А. Ротштейна, С. Штовбы и других авторов [3,5], которые касаются вопросов применения теории нечетких множеств в оценке и оптимизации надежности АП. В

этих работах для учета ошибок предложены матричные модели надежности операторов, логических условий и алгоритмических структур. Рассмотренные подходы позволяют учитывать вероятности возникновения ошибок разных типов и учитывать затраты на их устранение. Эти методы можно отнести к нечеткой теории надежности с четкими бинарными состояниями системы и нечеткими вероятностями переходов между ними. Такого рода работы базируются также на рассмотрении одномерных алгоритмических процессов.

На сегодня, в научных публикациях также уделяется внимание нечетким моделям надежности многомерных АП. Одной из важных публикаций в этом направлении является известная монография [3], посвященная исследованию вопросов моделирования и оптимизации надежности именно многомерных алгоритмических процессов, при выполнении которых возможно внесение, обнаружение и исправление ошибок разных типов. Предлагаются постановки и методы решения задач четкой и нечеткой оптимизации АП. Также приводятся результаты исследований в направлении обобщения и построения многомерных моделей надежности операторов, логических условий и типовых алгоритмических структур на случай нечетких данных.

Принципы формализации процедур оценки надежности многомерных алгоритмических процессов информационных систем

Проведенный анализ известных подходов и сопутствующих методов к оценке надежности АП систем с дискретным поведением позволяет сформулировать ряд важных принципов и задач, требующих своего решения в области проектного менеджмента для обеспечения структурной и функциональной надежности информационных систем на этапах проектирования. К этому перечню важных методологических задач, которые следует использовать при построении системы оценки надежности АП информационных систем, можно отнести следующие принципы, которые к настоящему времени теоретически достаточно хорошо обоснованы [3]:

1. Принцип описания АП на языке алгоритмических алгебр. Принцип заключается в использовании системы алгоритмических алгебр Глушкова [8] для записи структуры любого АП. Данный принцип упрощает понимание, анализ и возможный перенос алгоритмического процесса в программный вид.

2. Принцип перехода от алгоритмического к вероятностному описанию. Данный принцип заключается в построении вероятностной модели на основе алгоритмического описания АП. Это позволяет оценить показатели надежности АП по известным характеристикам надежности операторов и логических условий. Алгоритмическое описание с помощью операторов и логических условий отображает логико-временную последовательность событий при функционировании системы. Вероятностное описание представляет собой формулы расчета показателей надежности по известной надежности операторов и логических условий.

3. Принцип типовых алгоритмических структур. Согласно данному принципу для оценки показателей надежности АП сначала часто встречающиеся комбинации операторов и логических условий выделяются в типовые структуры. Для полученных типовых структур разрабатываются модели надежности. После производится оценка показателей надежности путем замены типовых структур на оператор с аналогичными характеристиками. Данный алгоритм повторяется пока исходный АП не будет редуцирован до единственного оператора.

4. Принцип многомерности АП. Данный принцип устанавливает многомерную концепцию учета ошибок. Как было описано в классификации в многомерных АП могут возникнуть следующие ситуации: отсутствие ошибок, наличие ошибок 1-го рода, наличие ошибок 2-го рода и т.д. Стоит учесть, что при совместимости ошибок АП может находиться в состояниях с кратными ошибками.

5. Принцип представления экспертных оценок исходных данных нечеткими числами. Согласно этому принципу все вероятностные и временные характеристики надежности опе-

раторов и логических условий задаются в виде нечеткого числа с указанием нижней и верхней границ возможных значений и экспертной оценки данного параметра.

6. Принцип α -уровневого представления нечетких чисел. Данный принцип устанавливает форму задачи нечетких чисел в виде α -формы (α -срезов) для упрощения работы с ними.

7. Принцип нечеткого обобщения моделей надежности. Согласно этому принципу модели надежности типовых алгоритмических структур обобщаются на случай нечетких исходных данных.

8. Принцип многовариантности постановок задач оптимизации надежности АП. Данный принцип устанавливает многовариантность постановки задач оптимизации, т.е. использование разных способов формирования критериев и ограничений, а также разных методов улучшения надежности АП.

9. Принцип генетической оптимизации надежности АП. Согласно данному принципу для решения задач оптимизации надежности АП необходимо использовать генетические алгоритмы. Их преимуществом является возможность получения хороших решений для разных форм задач оптимизации (дискретных, непрерывных, смешанных) без существенных модификаций основных генетических процедур.

10. Принцип объединения генетического алгоритма со схемой Беллмана–Заде для нечеткой оптимизации надежности АП. Данный принцип устанавливает использование схемы Беллмана–Заде из нечеткой теории принятия решения при ранжировании альтернатив, полученных с помощью генетического алгоритма, который в свою очередь минимизирует перебор вариантов.

Применение данных принципов при оценке надежности и моделировании различных АП может дать абсолютно новые результаты, которые могут помочь оптимизировать алгоритм функционирования любой системы и тем самым улучшить ее характеристики качества и надежности.

Модельное представление алгоритмических процессов ИС для постановки задач оценки надежности и оптимизации

Внедрение выше указанных принципов в практику для формализации процедур оценки надежности алгоритмических процессов ИС требует обоснования способа представления типовой модели алгоритмического процесса. В качестве наглядной универсальной модели АП выбран вероятностный граф [1,3,4], называемый конечным ориентированным графом $G(X, \Gamma)$ с взвешенными дугами, отождествляемый с поглощающим случайным процессом, к которому сводится вероятностная модель АП.

Основные свойства данного вероятностного графа, учитывая особенности объекта моделирования, можно определить следующим образом [3-5]:

1) X – множество вершин графа. Каждая вершина графа соответствует событию, которое представляет собой начало или окончание выполнения одной из операций входящих в АП;

2) Γ – множество дуг графа. Каждая дуга графа отождествляется с какой-либо выполняемой операцией рассматриваемого АП;

3) вес каждой дуги соответствует характеристикам надежности и времени выполнения, соответствующей ей операции АП, которая может завершиться с различными исходами (правильным или с ошибками);

4) веса дуг предполагаются независимыми;

5) вершины графа имеют выход типа "исключающие ИЛИ";

6) множество вершин графа X представляется в виде:

$$X = x_0 \cup \pi \cup A,$$

где x_0 – начальная вершина, отождествляемая с принятием решения о начале выполнения процесса (вершина x_0 является фиктивной при условии, что граф имеет несколько входных вершин);

A – множество выходных (поглощающих) вершин, каждая из которых характеризует завершение АП с одним из возможных исходов;

π – множество промежуточных (переходных) вершин, которые соответствуют промежуточным состояниям, возникающим при выполнении АП. Данные вершины находятся между входной и поглощающими вершинами;

7) петли и замкнутые контуры графа соответствуют циклически повторяющимся наборам операций;

8) для любой j -ой вершины вероятностного графа выполняется условие стохастичности:

$$\sum_{i=1}^n p_{ji} = 1,$$

где p_{ji} – вероятность перехода из j -ой вершины в i -ую;

n – количество дуг, выходящих из j -ой вершины.

Задача анализа АП, моделируемого вероятностным графом $G(X, \Gamma)$, сводится к укрупнению этого графа, т.е. к преобразованию типа

$$G(X, \Gamma) \rightarrow G(X^*, \Gamma^*),$$

где $G(X^*, \Gamma^*)$ – укрупненный граф, в котором отсутствуют промежуточные вершины, т.е. $X = x_0 \cup A$, $\pi = \emptyset$, а веса дуг, направленных из вершины x_0 в вершины множества A , представляются в виде функциональных зависимостей от весов дуг исходного графа $G(X, \Gamma)$, это позволяет вычислить вероятность и время каждого перехода из x_0 в A . При укрупнении вероятностных графов могут применяться правила эквивалентных преобразований [2,8] для последовательных дуг, параллельных дуг, дуги-петли.

Для дальнейшего рассмотрения проблемы оценки качества и надежности алгоритмических процессов информационных систем следует руководствоваться планом проведения научных исследований, в который должны войти следующие проблемные вопросы: разработка и исследование нечетких моделей качества и показателей надежности многомерных АП информационных систем; постановка задач четкой и нечеткой оптимизации показателей качества и надежности АП; исследование возможностей применения интеллектуальных методов для решения задач четкой и нечеткой оптимизации алгоритмических процессов информационных систем.

Библиографический список

1. Макарова Н.В., Таганов А.И., Цыцына М.И. Оценивание качества и функциональной надежности программных средств информационных систем. В сборнике: Современные технологии в науке и образовании - СТНО-2020. Сборник трудов III международного научно-технического форума: в 10 т. Рязань, 2020. С. 205-209.
2. Липаев В.В. Надежность программных средств / Липаев В.В. – М.: СИНТЕГ, 1998. – 232 с.
3. Ротштейн А.П., Штовба С.Д., Козачко А.Н. Моделирование и оптимизация надежности многомерных алгоритмических процессов. – Винница: «УНИВЕРСУМ-Вінниця», 2007. – 215 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, 20013. - 168 с.
5. Ротштейн А. П., Штовба С. Д. Нечеткая надежность алгоритмических процессов. – Винница: Континент – ПРИМ, 1997.– 142 с.
6. Губинский А. И. Надежность и качество функционирования эргатических систем. – Л.: Наука, 1982. – 270 с.

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. Кофман А. Введение в теорию нечетких множеств: Пер. с франц. – М.: Радио и связь, 1982 г. – 432 с.

9. Шубинский И.Б. Функциональная надежность информационных систем. Методы анализа. – М.: «Журнал Надежность», 2012. – 296 с.

10 Макарова Н.В., Таганов А.И., Цыцына М.И Информационная поддержка оценки качества программных средств. В сборнике: Современные технологии в науке и образовании - СТНО-2020. Сборник трудов IV международного научно-технического форума: в 10 т. Рязань, 2021. С. 15-19.

УДК 621.396; ГРНТИ 47.47

ТЕХНОЛОГИЯ EM-МОДЕЛИРОВАНИЯ В СРЕДЕ SONNET LITE

Е.П. Васильев, Н.В. Климчук, Е.А. Чирковская

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

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

Ключевые слова: EM-моделирование, полосовой фильтр метод конечных элементов

EM SIMULATION TECHNOLOGY IN THE SONNET LITE ENVIRONMENT

E.P. Vasilyev, N.V. Klimchuk, E.A. Chirkovskay

*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 имеется возможность 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 эффективно-

го моделирования на краях микрополосковых линий автоматически формируется особая сетка, учитывающая влияние краевых токов и повышающая точность результатов. В Sonnet Lite 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 данными 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 блок-схеме (рис. 1).

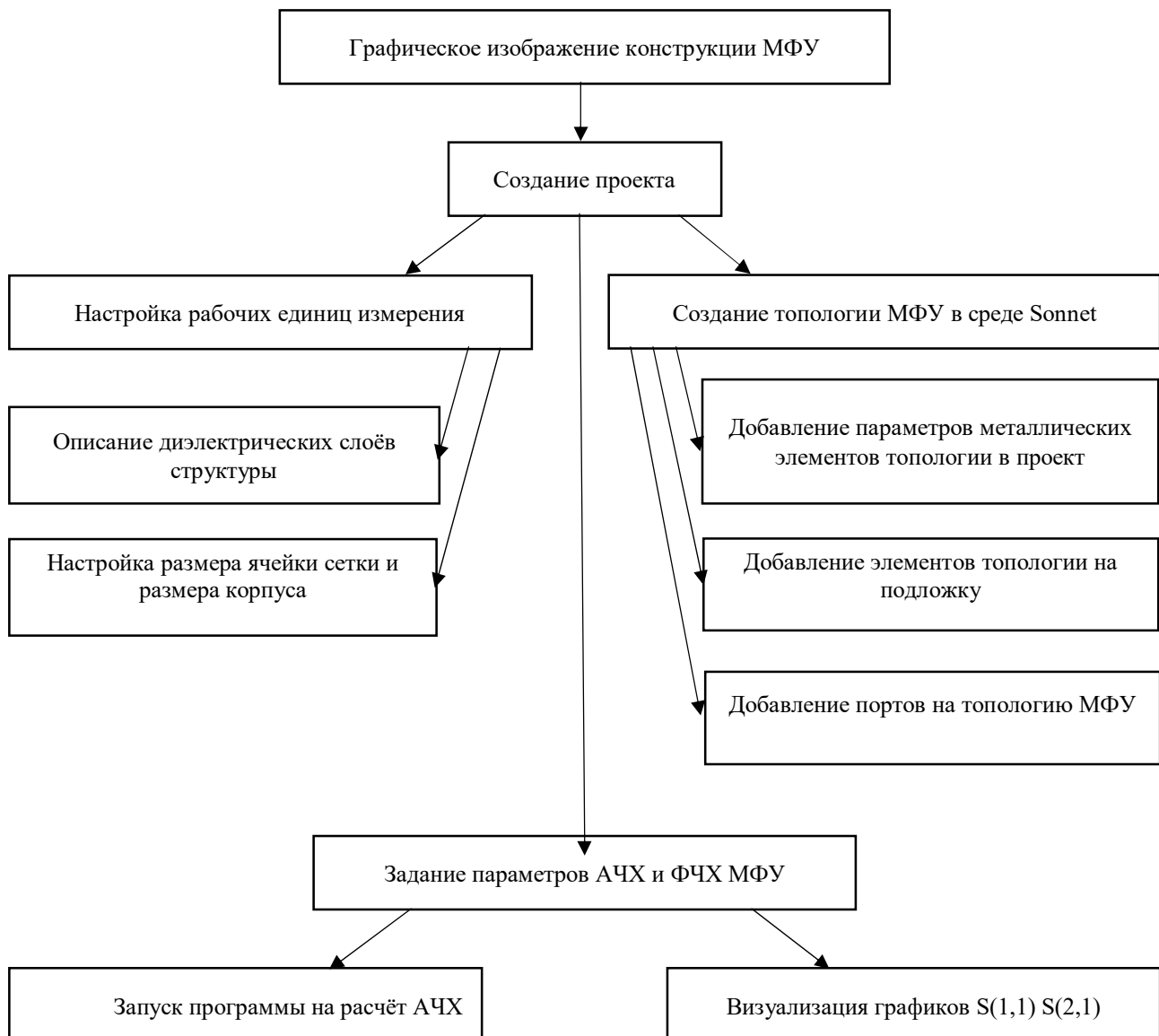


Рис. 1. Основные этапы EM-моделирования

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 слоев.

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 слоев (материал и параметры проводящих слоёв).

5. *Добавление элементов топологии на подложку.* Графическое изображение с использованием инструментов Sonnet слоев диэлектриков и металлизации в соответствии с предварительно 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 EM-моделирования рассчитаны основные характеристики полосового фильтра (ПФ) на связанных микрополосковых линиях. Топология ПФ и 3D конструкция представлены на рисунке 2 и рисунке 3.

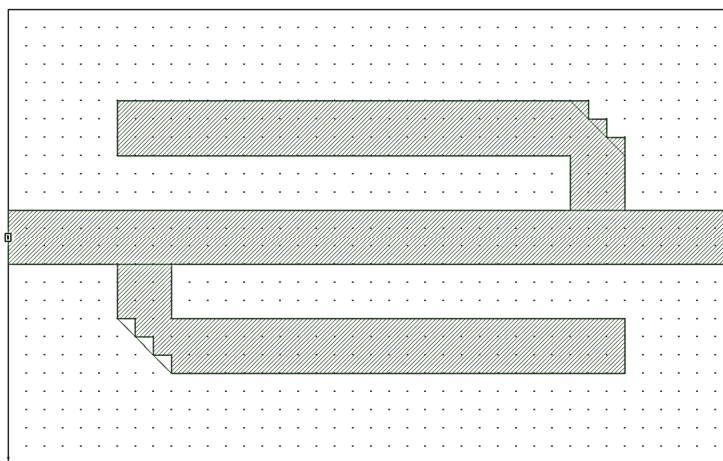


Рис. 2. Топология полосового фильтра

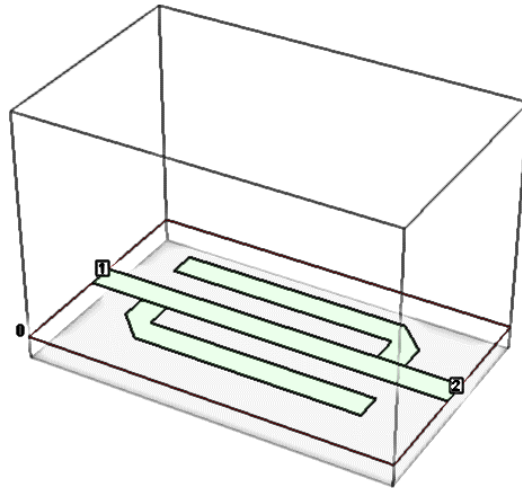
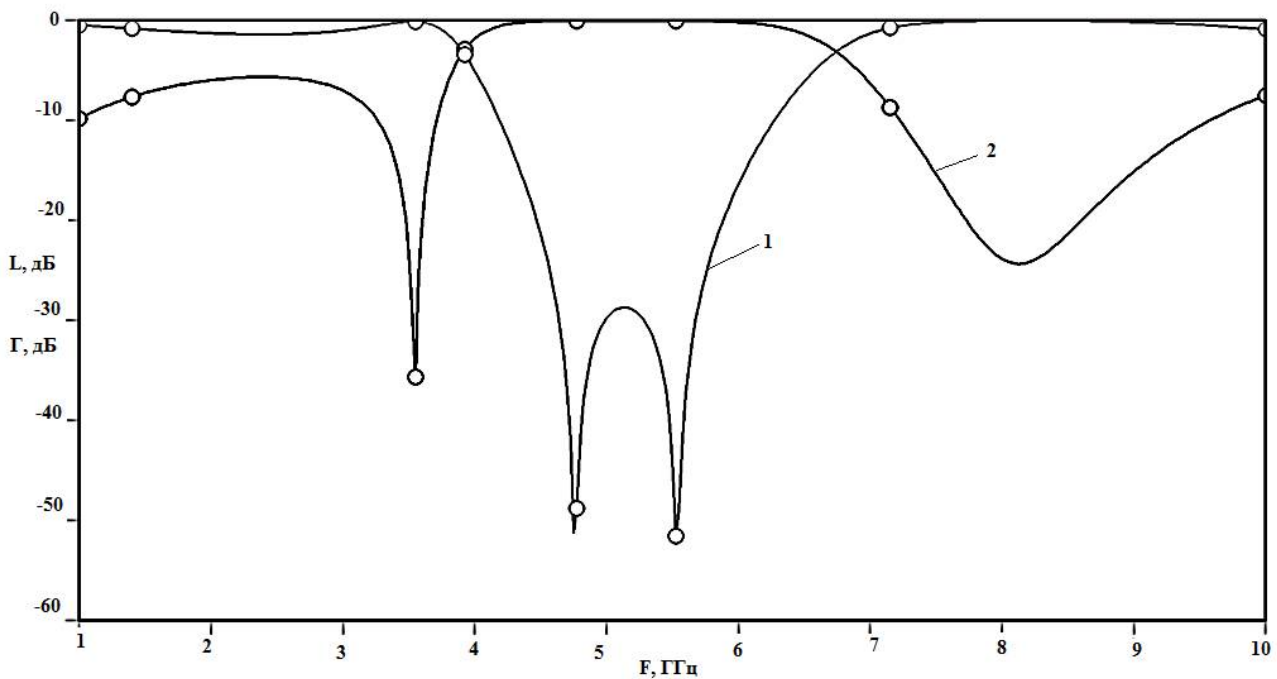


Рис. 3. 3D модель полосового фильтра

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

Рис. 4. Зависимость коэффициента отражения Γ (1) и коэффициента передачи L (2) от частоты

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

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: 25.05.2021).
6. Краткое описание возможностей Sonnet Suites. [Электронный ресурс].
URL: http://eurointech.ru/eda/microwave_design/sonnet/Sonnet-Suites.phtml (дата обращения: 25.05.2021).

УДК 004.932; ГРНТИ 28.23.15

ИССЛЕДОВАНИЕ ВНУТРЕННИХ МЕР ОЦЕНКИ КАЧЕСТВА В ЗАДАЧЕ КЛАССИФИКАЦИИ ГИПЕРСПЕКТРАЛЬНЫХ ДАННЫХ БЕЗ УЧИТЕЛЯ

С.М. Ларионов

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

Аннотация. В работе рассматривается двухэтапная реализация подхода к классификации гиперспектральных данных на основе плотности ближайших соседей. Приводятся результаты применения внутренних мер оценки качества для выбора числа ближайших соседей.

Ключевые слова: дистанционное зондирование Земли, классификация без учителя, оценка качества классификации, гиперспектральные данные.

RESEARCH OF INTERNAL MEASURES OF QUALITY EVALUATION OF UNSUPERVISED CLASSIFICATION OF HYPERSPECTRAL DATA

S.M. Larionov

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

The summary. The paper discusses the two-stage implementation of an approach to the classification of hyperspectral data based on the density of nearest neighbors. Given results of applying internal quality measures to select the number of nearest neighbors.

Keywords: Earth remote sensing, unsupervised classification, classification quality evaluation, hyperspectral data.

Дистанционное зондирование Земли является на сегодняшний день одним из передовых направлений научных исследований, позволяющих решить ряд важных задач таких, как построение карт местности [1], разведка полезных ископаемых [2], мониторинг стихийных бедствий [3], анализ воды [4], почвы [5] и растительности [6]. Авиационная и космическая гиперспектральная съемка [7] – современный способ получения данных об объектах подстилающей поверхности. За счет высокого спектрального разрешения гиперспектральные изображения предоставляют подробную информацию о спектральных характеристиках объектов Земли. Таким образом подобные снимки предоставляют широкие возможности для решения задачи классификации.

Методы классификации [8] данных разделяются на обучаемые и методы без учителя. К обучаемым методам относятся: метод опорных векторов [9], подходы на основе деревьев решений [10-12], нейронные сети [13, 14], линейная регрессия [15]. Обучаемые методы классификации для выделения групп объектов на изображениях используют обучающие выборки, представляющие собой наборы из гиперспектральных снимков и размеченных эталонов классификации. Эталон классификации – это одноканальное изображение, пиксели которого принимают значения меток соответствующих классов. Такие эталоны формируются

либо по результатам полевых замеров (либо при наличии априорной информации об объектах подстилающей поверхности, например, карта посевных площадей), либо путем ручной разметки оператором. Процесс формирования эталонов является трудоемким, времязатратным и, в случае ручной разметки – зависящим от субъективной оценки оператора. В связи с этим активное развитие получили подходы к классификации без учителя: метод ISODATA [16], метод CURE [17], алгоритм k -средних [18], метод нечетких c -средних [19], EM-алгоритм [20], метод DBSCAN [21], метод OPTICS [22]. Почти все алгоритмы классификации без учителя требуют априорной настройки параметров. Одним из современных подходов к классификации гиперспектральных данных без учителя является метод GWENN [23-25], в основе которого лежит принцип присвоения метки пикселя исходя из меток ближайших соседей этого пикселя в гиперспектральном пространстве признаков и степени окружённости этих соседей другими точками в данном многомерном пространстве. Главный параметр GWENN – число k ближайших соседей. От значения k зависит минимальный размер выделяемого класса на изображении. При выборе малого k изображение разбивается на большое число малых классов. При увеличении k растет вероятность объединения малых классов, физически присутствующих на изображении, с более крупными; при этом растут требуемые вычислительные затраты. В [26] авторами представлена двухшаговая модернизация GWENN. На первом шаге применяется малое фиксированное k , зависящее от размеров изображения. В результате снимок разбивается на большое число малоразмерных групп. На втором шаге группы объединяются, то есть классифицируются GWENN, при этом k на втором этапе выбирается путем оптимизации внутренней меры качества. Для классификации на втором шаге подсчитываются средние значения признаков внутри каждой группы, и фактически классифицируются уже эти средние значения. В процессе оптимизации классификация проводится для всех возможных значений k . Для каждого полученного результата классификации вычисляется значение меры качества. В исследовании сравнивается точность классификации для следующих мер качества: функция Мэулик-Бандойпадхия [27, 28], функция Калински-Харабаса [29], функция Score-функция [30], функция Данна [31], функция Хьюберта [32], функция Дэвиса-Болдуина [33], СОР-функция [34].

Функция Мэулик-Бандойпадхия вычисляется согласно выражению:

$$MB = \left(\frac{1}{c} \frac{E_1}{E_c} D \right)^2, \quad (1)$$

где c – число классов; $E_c = \sum_{i=1}^c \sum_{x \in c_i} \|x - v_i\|$ – внутриклассовое расстояние;

x – классифицируемый элемент данных;

c_i – множество элементов i -го класса;

v_i – центр i -го класса;

D – максимальное расстояние между классами;

E_1 – сумма расстояний от центра множества до каждого его элемента.

Функция Калински-Харабаса определяется по формуле:

$$CH = \frac{BC}{c-1} \frac{N-c}{WC}, \quad (2)$$

где $WC = \frac{1}{2} \sum_{i=1}^c (n_{c_i} - 1) d_{c_i}^2$ – сумма расстояний внутри классов;

$WC = \frac{1}{2}((c-1)\bar{d}^2 + (N-c)A_c)$ – сумма расстояний между классами;

$A_c = \frac{1}{N-c} \sum_{i=1}^c (n_{c_i} - 1)(\bar{d}^2 - \bar{d}_{c_i}^2)$ – взвешенная средняя разница расстояния между центрами

классов и общим центром классифицируемого множества элементов;

\bar{d}^2 – средний квадрат расстояния между элементами в классифицируемом множестве;

$\bar{d}_{c_i}^2$ – средний квадрат расстояния между элементами в классе c_i .

Функция Score-функция рассчитывается как:

$$SF = 1 - \frac{1}{\exp[\exp[bcd - wcd]]}, \quad (3)$$

где $bcd = \sum_{i=1}^c \frac{\|v_i - \bar{v}\| * n_{c_i}}{N * c}$ – расстояние между классами;

$\bar{v} = \frac{1}{c} \sum_{i=1}^c v_i$ – центр центров классов;

$wcd = \sum_{i=1}^c \left(\frac{1}{n_{c_i}} \sum_{x \in c_i} \|x - v_i\| \right)$ – расстояние внутри классов.

Функция Данна вычисляется в соответствии с выражением:

$$D = \min_{i,j \in \{1..c\}, i \neq j} \left\{ \frac{d(c_i, c_j)}{\max_{r \in \{1..c\}} \text{diam}(c_r)} \right\}, \quad (4)$$

где $d(c_i, c_j)$ – расстояние между ближайшими элементами классов c_i и c_j ;

$\text{diam}(c_r)$ – максимальное расстояние между элементами класса c_r .

Функция Хьюберта определяется как:

$$\Gamma = \frac{1}{M} \sum_{i=1}^{N-1} \sum_{j=i+1}^N P(i, j) Q(i, j), \quad (5)$$

где $M = N * \frac{N-1}{2}$;

P – матрица близости для классифицируемого множества;

Q – матрица размером $N \times N$, в котором элемент (i, j) соответствует расстоянию между центрами классов (v_{c_i}, v_{c_j}) , к которым принадлежат соответственно элементы x_i и x_j .

Функция Дэвиса-Болдуина рассчитывается по следующей формуле:

$$DB = \frac{1}{c} \sum_{i=1}^c R_i \quad (6)$$

где $R_i = \max_{i,j \in \{1..c\}, i \neq j} (R_{ij})$, $R_{ij} = \frac{S_i + S_j}{d_{ij}}$, $S_i = \left\{ \frac{1}{n_{c_i}} \sum_{x \in c_i} \|x - v_i\| \right\}$, $d_{ij} = \sqrt{\sum_{i,j \in \{1..c\}, i \neq j} (v_i - v_j)^2}$, n_{c_i} – чис-

ло элементов класса c_i .

СОР-функция вычисляется согласно выражению:

$$COP = \frac{1}{d} \sum_{i=1}^c n_{c_i} \frac{1/n_{c_i} \sum_{x_i \in c_i} \|x_i - v_i\|}{\min_{x_i \notin c_i} \max_{x_j \in c_i} \|x_i - x_j\|} \quad (7)$$

где d – число элементов классифицируемого множества.

При поиске оптимального значения числа k ближайших соседей функции (1), (2), (3), (4), (5) максимизируются, функции (6), (7) – минимизируются.

Результаты исследования внутренних мер оценки качества в задаче классификации гиперспектральных данных без учителя представлены в таблице 1. В ячейках таблицы 1 представлены значение точности классификации соответствующего изображения при использовании на втором шаге модификации GWENN [26] соответствующей меры качества. Для тестирования используются: изображение Salinas, изображение IndianPines, изображение KennedySpaceCenter, изображение PaviaUniversity [35].

Таблица 1. Результаты исследования внутренних мер оценки качества в задаче классификации гиперспектральных данных без учителя

Мера качества	Salinas	IndianPines	KennedySpaceCenter	PaviaUniversity
Функция Мэулик-Бандойпадхия	55	47	39	39
Функция Калински-Харабаса	42	50	49	42
Функция Score-функция	45	39	47	44
Функция Данна	36	51	45	38
Функция Хьюберга	38	52	40	41
Функция Дэвиса-Болдуина	45	35	41	56
СОР-функция	42	38	46	50

Библиографический список

1. Дистанционное зондирование в картографии: практику: учеб. Пособие / А.И. Пономарчук, Е.С. Черепанова, А.Н. Шихов; Перм. гос. нац. исслед. ун-т. – Пермь. – 2013. – 100 с.: ил.
2. Трофимов Д.М., Каргер М.Д., Шуваева М.К. Методы дистанционного зондирования при разведке и разработке месторождений нефти и газа. – М.: Инфра-Инженерия. – 2015. – 80 с.
3. Саворский, В.П. Информационная система дистанционного зондирования Земли, описывающая быстро развивающиеся опасные природные явления / В.П. Саворский // Современные проблемы дистанционного зондирования Земли из космоса. – 2020. – Т. 17. – №7. – С. 94–104.
4. Мамедбели, А.Г. О точности оценки качества воды методами дистанционного зондирования / А.Г. Мамедбели // Альтернативная энергетика и экология. – 2013. – № 5 (125). – с. 103 – 106.
5. Кривальцевич, С.В. Дистанционное зондирование деградированных почв : диссертация кандидата физико-математических наук : 25.00.35.- Барнаул, 2005. – 162 с.: ил.
6. Дистанционное зондирование - перспективный метод изучения биоразнообразия растений в степной зоне / А.Н. Шмараева, Н.Н. Фоменко, В.В. Федяева, Ж.Н. Шишлова // Известия высших учебных заведений. Северо-Кавказский регион. Естественные науки. – 2006. – №3 – с.76-79.
7. Многоуровневая система оперативного гиперспектрального мониторинга Земли / Г. П. Аншаков, А. С. Егоров, А. В. Рашупкин, В. К. Скирмунт // Вестник Самарского государственного аэрокосмического университета. – №4 (42). – 2013. – с. 28-37.
8. Advances in Hyperspectral Image and Signal Processing: A Comprehensive Overview of the State of the Art. / P. Ghamisi, N. Yokoya, J. Li, W. Liao, S. Liu, J. Plaza, B. Rasti, A. Plaza // IEEE Geoscience and Remote Sensing Magazine. – 2017. – December. – Volume 5, Issue 4 – P. 37–78. – doi:10.1109/mgrs.2017.2762087.
9. F. Melgani and L. Bruzzone, "Classification of hyperspectral remote sensing images with support vector machines," IEEE Trans. Geosci. Remote Sens., vol. 42, no. 8, pp. 1778–1790, 2004.
10. P. O. Gislason, J. A. Benediktsson, and J. R. Sveinsson, "Random forests for land cover classification," Patt. Recog. Lett., vol. 27, no. 4, pp. 294–300, 2006.
11. J. Xia, P. Du, X. He, and J. Chanussot, "Hyperspectral remote sensing image classification based on rotation forest," IEEE Geosci. Remote Sens. Lett., vol. 11, no. 1, pp. 239–243, Jan. 2014.
12. T. Rainforth and F. Wood.(2017, Aug.).Canonical correlation forests.arXiv. [Online]. Available: <https://arxiv.org/abs/1507.05444>.

13. J. A. Benediktsson, P. H. Swain, and O. K. Ersoy, "Neural network approaches versus statistical methods in classification of multisource remote sensing data," *IEEE Trans. Geosci. Remote Sens.*, vol. 28, no. 4, pp. 540–552, 1990.
14. Y. Chen, H. Jiang, C. Li, X. Jia, and P. Ghamisi, "Deep feature extraction and classification of hyperspectral images based on convolutional neural networks," *IEEE Trans. Geosci. Remote Sens.*, vol. 54, no. 10, pp. 6232–6251, Oct. 2016.
15. J. Li, J. Bioucas-Dias, and A. Plaza, "Semi-supervised hyperspectral image segmentation using multinomial logistic regression with active learning," *IEEE Trans. Geosci. Remote Sens.*, vol. 48, no. 11, pp. 4085–4098, 2010.
16. Ball, G.H. *Isodata: a method of data analysis and pattern classification* / G.H. Ball, D. J. Hall // Stanford Research Institute. – 1965. – 70 pp.
17. Guha, S. *Cure : An efficient clustering algorithm for large databases* / S. Guha, R. Rastogi, and K. Shim // SIGMOD Conference, Laura M. Haas and Ashutosh Tiwary, Eds., ACM Press – 1998. – P. 73- 84.
18. Arthur, D. *How slow is the k-means method?* / D. Arthur, S. Vassilvitskii // Proceedings of the 2006 Symposium on Computational Geometry. – 2006. – P. 144–153.
19. *Fuzzy c-means algorithm for segmentation of aerial photography data obtained using unmanned aerial vehicle* / M.V. Akinin, N.V. Akinina, A.Y. Klochkov, M.B. Nikiforov, A.V. Sokolova // International Archives of the Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences. – 2015. – Vol. XL-5/W6. – P. 113–115.
20. Dempster A P, Laird N M, Rubin D B. *Maximum likelihood from incomplete data via the EM algorithm.* *J Royal Stat Soc*, 1977, 39: 1–38.], [Yang, Honglei&Peng, Junhuan& Xia, BaiRu& Zhang, DingXuan. (2012). *An improved EM algorithm for remote sensing classification.* *Chinese Science Bulletin*. 58. 10.1007/s11434-012-5485-4.
21. *DBSCAN revisited, revisited: why and how you should (still) use DBSCAN* / E. Schubert, J. Sander, M. Ester, H.P. Kriegel, X. Xu // *ACM transactions on database systems*. – 2017. – Vol. 42 № 3 – P. 1–21.
22. *OPTICS: ordering points to identify the clustering structure* / M. Ankerst, M. M. Breunig, H.-P. Kriegel, J. Sander // *Proc. 1999 ACM SIGMOD Intern. Conf. on Management of data*. –1999. – P. 49–60.
23. Cariou, C. *A new k-nearest neighbor density-based clustering method and its application to hyperspectral images* / C. Cariou, K. Chehdi // *International Geoscience and Remote Sensing Symposium (IGARSS)*. –2016.
24. Cariou, C. *Nearest neighbor-density-based clustering methods for large hyperspectral images* / C. Cariou, K. Chehdi // *Proc. SPIE 10427, Image and Signal Processing for Remote Sensing XXIII*. – 2017. – October . – doi: 10.1117/12.2278221
25. Cariou, C. *Application of unsupervised nearest neighbor density-based approaches to sequential dimensionality reduction and clustering of hyperspectral images* / C. Cariou, K. Chehdi // *Proc. SPIE 10789, Image and Signal Processing for Remote Sensing*. – 2018.– October.
26. Ларионов, С. М., *Кластеризация гиперспектральных спутниковых снимков земной поверхности на основе метода плотности ближайших соседей* // С.М. Ларионов, А.А. Макаренко / *Цифровая обработка сигналов*. – № 3. – 2020. – с. 15-20.
27. U. Maulik and S. Bandyopadhyay. *Performance evaluation of some clustering algorithms and validity indices* // *IEEE Transactions Pattern Analysis Machine Intelligence*, 24(12): 1650–1654, 2002.
28. M.K. Pakhira, S. Bandyopadhyay, and U. Maulik. *Validity index for crisp and fuzzy clusters* // *Pattern Recognition*, 37(3): 487–501, 2004.
29. Calinski, T. *A dendrite method for cluster analysis.* / T. Calinski, J. Harabasz // *Communications in Statistics-theory and Methods*. – 1974. – Vol. 3. – № 1. – P. 1–27.
30. Saitta, S. *A bounded index for cluster validity* / S. Saitta, B. Raphael, I.F. Smith // *International Workshop on Machine Learning and Data Mining in Pattern Recognition*. – 2007. – P. 174–187.
31. Dunn, J.C. *Well separated clusters and optimal fuzzy-partitions* / J.C. Dunn // *Journal of Cybernetics*. – 1974. – Vol. 4. – Iss. 1. – P. 95 – 104.
32. S. Theodoridis and K. Koutroumbas. *Pattern recognition*. Academic Press, San Diego, CA, 1999.
33. Davies, D.L. *A cluster separation measure* / D.L. Davies, D.W. Bouldin // *IEEE transactions on pattern analysis and machine intelligence*. – 1979. – № 2 – P. 224–227.
34. *SEP/COP: An efficient method to find the bestpartition in hierarchical clustering based on a new cluster validity index* / I. Gurrutxaga [et al] // *Pattern Recognition*. – 2010. – Vol. 43.– № 10. – P. 3364–3373.
35. [http://www.ehu.es/ccwintco/index.php?title=Hyperspectral Remote Sensing Scenes](http://www.ehu.es/ccwintco/index.php?title=Hyperspectral_Remote_Sensing_Scenes)

УДК 004.932; ГРНТИ 28.23.15

АДАПТИВНЫЙ АЛГОРИТМ СЖАТИЯ ГИПЕРСПЕКТРАЛЬНЫХ ДАННЫХ

В.В. Назарцев

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

Аннотация. В работе рассматривается адаптивный алгоритм сжатия гиперспектральной информации в соответствии с содержимым гиперспектрального снимка земной поверхности.

Ключевые слова: дистанционное зондирование Земли (ДЗЗ), сжатие данных, гиперспектр, космические системы.

ADAPTIVE HYPERSPECTRAL DATA COMPRESSION ALGORITHM

V.V.Nazartsev

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

The summary. The paper considers an adaptive algorithm for compressing hyperspectral information in accordance with the contents of a hyperspectral image of the Earth's surface.

Keywords: remote sensing of the Earth, data compression, hyperspectrum, space systems.

В текущее время всё более и более становится актуальной информация, получаемая космическими системами (КС) при дистанционном зондировании Земли (ДЗЗ) [1,2]. Если раньше данная информация была востребована только для прогнозирования погоды или в военных целях, то сейчас даже обычный автомобилист или курьер пользуется рядом геоинформационными системами (ГИС) для выбора маршрута. В связи с востребованностью технологии ДЗЗ развиваются, так, например, улучшается пространственное разрешение получаемых снимков (на серии спутников «Ресурс-П» можно получать снимки земной поверхности с пространственным разрешением 70 см), но особенно важным является развитие технологии в получение гиперспектральной информации (на рисунке 1 представлен пример гиперспектрального изображения, так называемый гиперкуб).

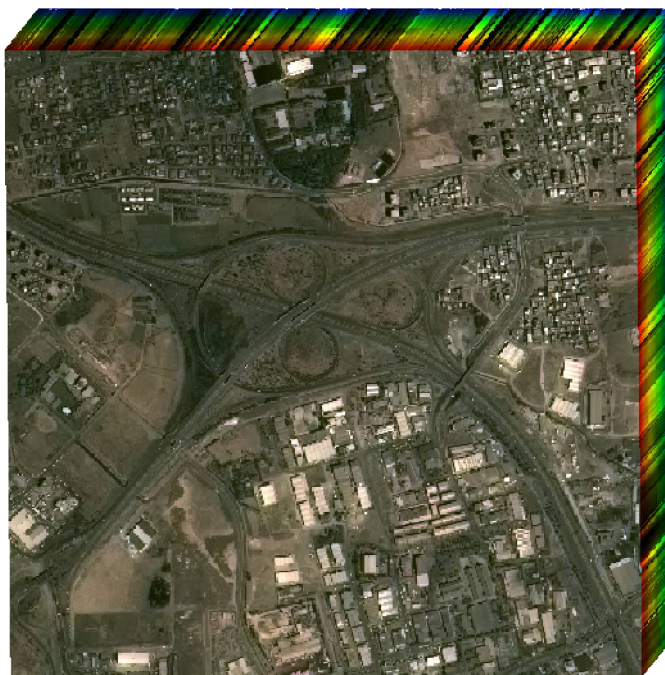


Рис. 1. Гиперспектральное изображение земной поверхности

Гиперспектральная съемочная аппаратура фиксирует отражённое излучение от

поверхности Земли в сотнях узких спектральных диапазонов, что позволяет получить спектральные характеристики любой точки снимка, описывающей распределение энергии в зависимости от длины волны [2]. Использование данных гиперспектральных снимков открывает новые возможности в сфере ДЗЗ, так например: поиск полезных ископаемых, детектирование тепловых аномалий, поиск облаков и водяного пара, более корректное прогнозирование погоды и т.д.

Главным недостатком данной информации является её объём, гиперспектральные снимки могут занимать до 100 Гбайт места на жёстких дисках и поступать от ряда спутников. Встаёт вопрос о долговременном хранении гиперспектральных данных за длительный период, а как следствие – вопрос о наилучшем способе архивации гиперспектральной информации.

При решении данной задачи было обращено внимание, что спектральные характеристики подстилающей поверхности в каждой точке имеют, как правило, гладкую структуру без резких выбросов, и как следствие было предложено устранять избыточность информативности гиперспектральных снимков в первую очередь не в пространственном, а в частотном направлении [3].

При апробации на реальных гиперспектральных снимках от серии спутников «Ресурс-П» с различными подстилающими поверхностями (однородных – пустыни, леса, поля, заснеженные снимки, моря; и не однородных – города, техногенных объектов) были использованы методы сжатия с потерями (ДВП, ДКП и др.), так и без потерь (алгоритм Хаффмана, JBIG, Lossless JPEG и др.). Алгоритмы сжатия с потерями при условиях небольших искажений распакованной информации показали несущественный выигрыш в коэффициенте сжатия гиперспектральных изображений в частотном направлении относительно алгоритмов без потерь, что недопустимо для текущей задачи долговременного хранения гиперспектральных изображений в архиве.

Дальнейший анализ гиперспектральных изображений выявил их главный недостаток – более плохое пространственное разрешение, чем у панхроматической и мультиспектральной съёмки. Например, для спутников серии «Ресурс-П», пространственное разрешение панхроматического изображения (аппаратура «ГЕОТОН-Л1») может достигать 70 см, спектрального (аппаратура «ШМСА-ВР») – 24 м, а в гиперспектральном (аппаратура «ГСА») – 30 м.

Исходя из этого, даже на неоднородной подстилающей поверхности (города, техногенные структуры и т.д.) имеются достаточно большие однотонные области. Это противоречит постулату о первичной сжатии гиперспектральной информации в спектральном направлении. Но при использовании методов сжатия, указанных выше, в классическом пространственном направлении выигрыш в коэффициенте сжатия получился ещё меньше, чем в спектральном направлении, исключением является полностью однородные подстилающие поверхности, занимающие более 50% снимка. Это обусловлено тем, что даже немного однородные по фону участки имеют выбросы, шумы или просто текстуру, но и спектральная кривая яркости в некоторых каналах может иметь не плавный характер, а скачкообразные изменения.

Используя данную информацию о неоднородности гиперспектрального снимка, как в пространственном, так и плановом направлении, появился тезис о разбиении всего снимка на 3D-участки (тейлы) и независимом способе их упаковке. Как результат данных исследований, был разработан адаптивный алгоритм сжатия гиперспектральных изображений земной поверхности:

Шаг 1. Разбитие всего гиперспектрального изображение на трёхмерные тейлы ($64 \times 64 \times nCh$, $128 \times 128 \times nCh$, $256 \times 256 \times nCh$... где nCh – число спектральных каналов изображения или размер тейла в пространственном направлении, если число спектральных каналов больше пространственного разрешения тейла).

Шаг 2. Анализ каждого тейла на способ оптимального для сжатия способа обхода тейла.

Первый вариант обхода – это поканальный, т.е. берутся все спектральные каналы первого пикселя в строке, потом второго пикселя и т.д.

Второй – пространственный – сначала по строчкам и столбцам берётся первый канал, потом второй.

Третий – поканальный по строчкам, т.е. берутся первые строки изображений всех каналов, потом вторые и т.д.

Четвёртый – метод трёхмерной волны – последовательно с нулевого пикселя в системе отсчёта тейла берутся как бы последовательные волны, распространяющиеся от него во всех трёх направлениях.

Пятый – змейкой от нулевого пикселя в пространственном направлении.

Шестой – змейкой сначала в частотном направлении

...

Шаг 3. Ставится признак способа его оптимального обхода и тейл преобразуется в одномерный массив для последующего сжатия.

Шаг 4. Производится сжатие всего преобразованного изображения описанными ранее известными методами.

Данный адаптивный алгоритм был апробирован на множестве реальных снимков от серии аппаратов «Ресурс-П». Он оказал существенный прирост в степени сжатия (в 1.5 раза) гиперспектральных снимков с любым типом подстилающей поверхности для их долговременного хранения. Особенностью данного адаптивного алгоритма является оптимальность подбора характеристик: размер тейла для конкретного изображения, выбора метода получения из тейла массива для сжатия тейла и способ сжатия получившегося архива.

Признак способа обхода тейла необходим для последующего восстановления. Он может занимать объём от одного бита, если использованы только 2 метода обхода по тейлу (в пространственном и частотном направлении), так и занимать несколько бит при использовании особых методов обхода конкретного тейла изображения. Дополнительно служебная информация, также записанная для процесса восстановления сжатого гиперспектрального изображения (признак способа архивации тейла, размер тейла), занимает несущественный объём от изображения и почти не влияет на итоговый коэффициент сжатия.

Дальнейшее совершенствование метода возможно в нескольких направлениях:

1. Исходя из самого большого недостатком данного алгоритма – его скорости работы, так как перед сжатием изображение происходит анализ каждого тейла на оптимальный способ его преобразования. Например, совершенствование поиска оптимального метода обхода тейла при помощи нейросетевого анализа, что в теории позволит существенно ускорить данный процесс.

2. Исходя из сути адаптивного метода – использование новых алгоритмов обхода тейла или поиска его оптимального размера.

3. Исходя из новых разработок науки в сфере сжатия информации – используя новые прогрессивные методы и алгоритмы сжатия для результирующего одномерного массива тейла.

Библиографический список

1. Еремеев В.В., Егошкин Н.А., Козлов Е.П., Кузнецов А.Е. и др. Повышение информативности космических изображений Земли //М.: КУРС, 2021. – 368с.
2. Еремеев В.В., Гусев С.И., Козлов Е.П., Кузнецов А.Е. и др. Геоинформатика. Обработка аэрокосмических изображений Земли//. М.: КУРС, 2021. – 312с.
3. Назарцев Валерий Викторович «Адаптивное сжатие гиперспектральной информации» //Материалы конференции XXVI всероссийской научно-технической конференции студентов, молодых учёных и специалистов Новые информационные технологии в научных исследованиях, Рязань 2021г.

УДК 621.396; ГРНТИ 47.47

ОСОБЕННОСТИ И ОТЛИЧИЯ МЕТОДОВ РАЗДЕЛЕНИЯ КАНАЛОВ FDMA, TDMA И CDMA

М.С. Поборуева, О.А. Бодров

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

Аннотация. В работе рассматриваются особенности методов разделения каналов в системах передачи информации. Приводятся их основные особенности, достоинства, недостатки, сравнение относительно друг друга, а также способы их реализации.

Ключевые слова: множественный доступ с частотным разделением (FDMA), множественный доступ с временным разделением (TDMA), множественный доступ с кодовым разделением (CDMA)

FEATURES OF CHANNEL SEPARATION METHODS AND THE DIFFERENCE BETWEEN FDMA, TDMA AND CDMA RELATIVE TO EACH OTHER

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 discusses the features of channel separation methods in information transmission systems. Their main features, advantages and disadvantages are given, as well as compared relative to each other and the ways of their implementation.

Keywords: frequency Division multiple access (FDMA), Time division multiple access (TDMA), code division multiple access (CDMA)

В современном мире происходит постоянное совершенствование способов передачи информации. Увеличение количества абонентов в системах сотовой связи зачастую приводит к ухудшению качества передачи данных. В связи с этим встает вопрос о выборе необходимого разделения каналов для передачи информации с минимальными потерями и высокой эффективностью частотно-временного ресурса.

Система передачи информации представляет собой совокупность технических средств для передачи информации от источника к приемнику информации [1]. В обобщенном виде системы передачи информации состоят из модулятора, кодера, канала связи, декодера, демодулятора рисунке 1.

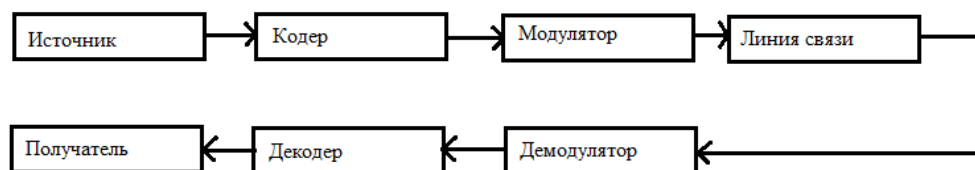


Рис. 1. Структурная схема системы передачи информации

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

- FDMA – частотное разделение каналов;
- TDMA – временное разделение каналов;
- CDMA – с кодовым разделением каналов.

Множественный доступ с частотным разделением (FDMA)

FDMA – это тип протокола канализации. При этом полоса пропускания делится на различные полосы частот. Каждой станции выделяется полоса для передачи данных, и эта полоса зарезервирована для конкретной станции на все время, которое выглядит следующим образом (рис.2) :

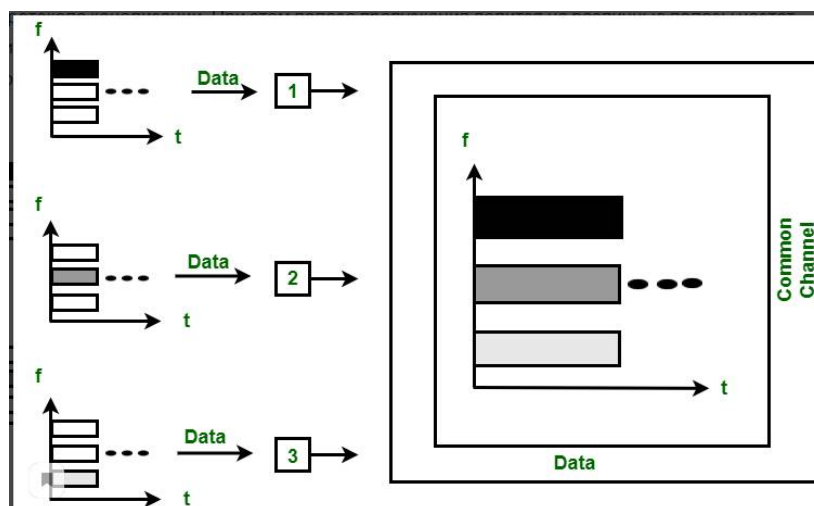


Рис. 2. Распределение частот в FDMA

Полосы частот разных станций разделены небольшой неиспользуемой полосой. Эти неиспользуемые полосы частот называются защитным интервалом, который снижает действие помех других станций.

Изначально 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 аналоговой передаче данных сигналы обычно мультиплексируются с использованием FDMA. При этом несущая полоса пропускания делится на подканалы различной ширины, каждый из которых одновременно передает свой сигнал. Каждый отдельный канал занимает конечный частотный диапазон, обычно кратный заданной базовой частоте.

Например, при использовании FDMA в технологии X-DSL (рис.3) по телефонным проводам передаются сигналы различной частоты: телефонный разговор использует полосу 0.3-3.4 кГц, а для передачи данных используется полоса от 26 кГц до 1.4 МГц, в течении ко-

того очень важно фильтровать сигналы. Иначе будут происходить наложения сигналов, из-за чего связь может сильно ухудшиться.

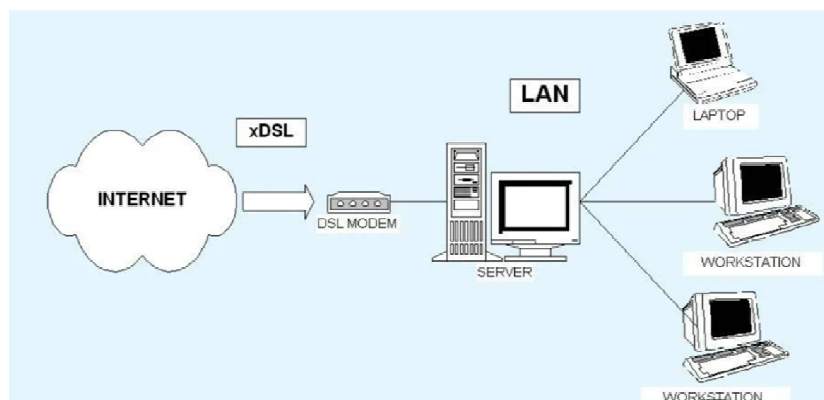


Рис. 3. Технологии X-DSL

Множественный доступ с временным разделением (TDMA)

TDMA – это протокол канализации, в котором пропускная способность канала разделена на различные станции по времени. Для каждой станции предусмотрен определенный временной интервал, станция может передавать данные только в течение этого временного интервала. Временной интервал выглядит следующим образом (рис.4.) :

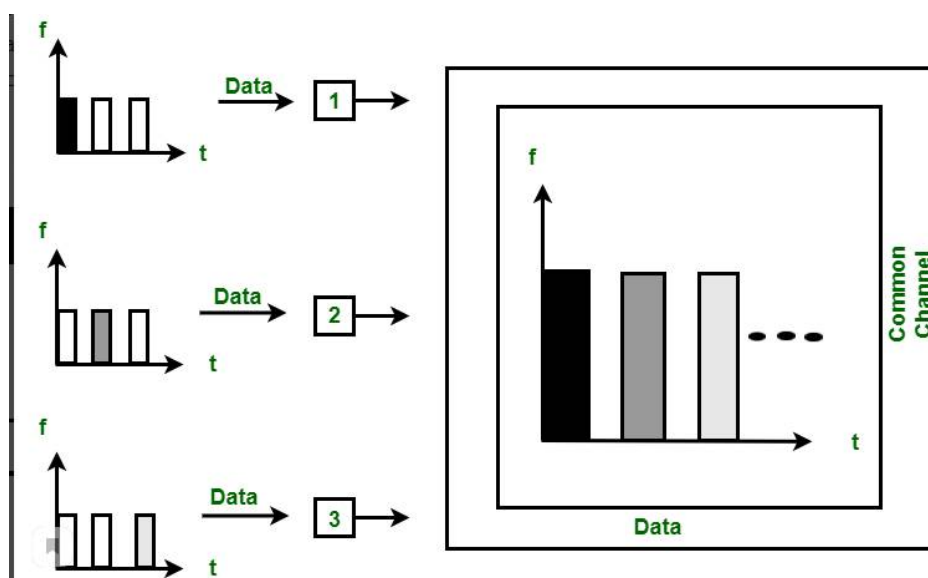


Рис. 4. TDMA

Каждая станция должна знать о своем начале временного интервала и его местоположении. TDMA требует синхронизации между различными станциями. Это тип метода доступа осуществляется на уровне канала передачи данных [1].

TDMA позволяет каждому пользователю получить доступ ко всему радиочастотному каналу за короткий промежуток времени вызова. Другие пользователи используют один и тот же частотный диапазон в разных временных интервалах. Базовая станция постоянно переключается от пользователя к пользователю в рамках этого частотного диапазона.

Система TDMA делит спектр на временные интервалы, причем в каждом слоте находится только один пользователь, способный передавать и принимать данные. Каждый поль-

зователь занимает циклически повторяющийся временной интервал, поэтому канал можно рассматривать как определенный временной интервал, повторяющийся каждый кадр.

TDMA использует меньшее количество каналов и более простые приемники для передачи данных от нескольких источников к получателям. TDMA использует меньшую полосу пропускания, чем сигналы FDMA. Как правило, применяют синхронный TDMA, в котором передатчик и приемник точно знают, какой сигнал передается.

Система на основе TDMA используется в системах сотовой связи стандартов GSM. Недостатком статистического TDMA является то, что отправитель должен указать заголовок, а получатель должен прочитать заголовок и если пакет переадресован, то отправить его к месту назначения.

Множественный доступ с кодовым разделением (CDMA)

В CDMA все станции могут передавать данные одновременно. Это позволяет каждой станции постоянно передавать данные на всей частоте. Несколько одновременных передач разделяются уникальной кодовой последовательностью. Каждому пользователю присваивается уникальная кодовая последовательность (рис.5).

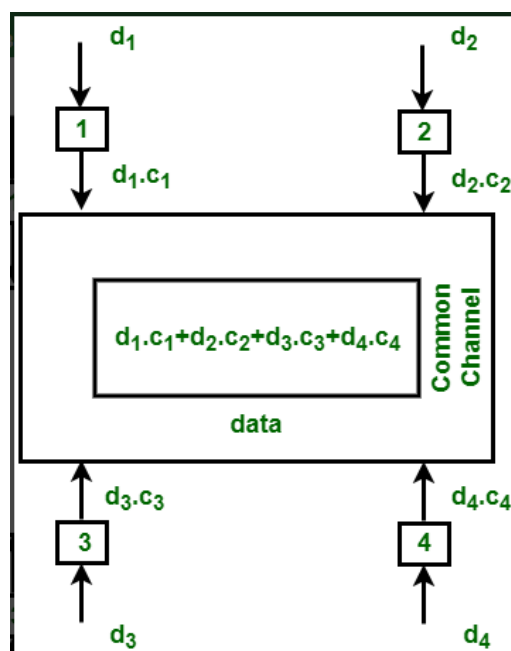


Рис. 5. CDMA

На рисунке 5 показаны четыре станции, отмеченные как 1, 2, 3 и 4. Указанные станции получают данные d_1 , d_2 , d_3 и d_4 , которым соответствуют кодовые комбинации c_1 , c_2 , c_3 и c_4 .

Множественный доступ с кодовым разделением основан на технологии «расширения» спектра [1]. В связи с этим он пригоден для шифрованной передачи. CDMA увеличивает пропускную способность канала, позволяя всем пользователям одновременно занимать все каналы.

В системе CDMA узкополосный сигнал сообщения умножается на сигнал с очень большой полосой пропускания, называемый расширяющим сигналом. Расширяемый сигнал представляет собой псевдошумовую кодовую последовательность, которая имеет скорость на порядки превышающую скорость передачи данных сообщения. Все пользователи в системе CDMA, используют одну и ту же несущую частоту. Каждому пользователю соответствует

своя псевдослучайная кодовая последовательность, которая псевдоортогональна всем остальным кодовым последовательностям [3].

На приемной стороне выполняется операция временной корреляции для обнаружения необходимого кодового слова. Все остальные кодовые слова появляются как шум из-за декорреляции. Чтобы обнаружить сигнал сообщения, приемник должен знать кодовое слово, используемое передатчиком. Каждый пользователь работает самостоятельно, без ведома других пользователей [2].

Система на основе CDMA используется в системах сотовой связи, спутниковых системах навигации GPS, ГЛОНАСС. Разработка CDMA показала свою эффективность также для применения в боевых целях и для передачи секретных данных при помощи связи. Каждой рации присваивается определенный код, который необходимо набрать как на приемной так и на передающей стороне, чтобы осуществить передачу данных.

Кроме того, мониторинг автомобильного, железнодорожного, водного или авиационного транспорта — задача, которую приходится решать руководителям транспортных компаний и логистических отделов предприятий, работающих в самых разных сферах народного хозяйства. Эффективный контроль городских и междугородних перевозок грузов и людей помогают обеспечивать автономные электронные устройства, взаимодействующие с системами глобальной спутниковой навигации и позиционирования GPS и ГЛОНАСС. Трекеры скрытно или явно устанавливаются в транспортных средствах и передают информацию об их местоположении. Вследствие чего сфера транспорта является одним из основных направлений применения спутниковых навигационных систем.

Таблица 1. Сравнение FDMA, CDMA и TDMA

Критерии сравнения	FDMA	TDMA	CDMA
Частотно – временной ресурс	совместное использование пропускной способности между различными станциями.	совместное использование времени спутникового ретранслятора.	использование как пропускной способности, так и времени между различными станциями.
Наличие кодового слова	Нет необходимости в каком-либо кодовом слове.	Нет необходимости в каком-либо кодовом слове.	Необходимо кодовое слово.
Наличие защитного интервала	В этом случае необходимы только защитные полосы между соседними каналами.	В этом случае необходимо время охраны соседних слотов.	В этом случае необходимы как полосы охраны, так и время охраны.
Синхронизация	Синхронизация не требуется.	Требуется синхронизация.	Синхронизация не требуется.
Скорость передачи	Скорость передачи данных низкая.	Скорость передачи данных средняя.	Скорость передачи данных высокая.
Режим передачи	Режим передачи данных-непрерывный сигнал.	Режим передачи данных-сигнал в бортах.	Режим передачи данных-цифровой сигнал.
Гибкость	Мало гибко.	Умеренно гибкий.	Обладает высокой гибкостью.

В зависимости от количества каналов, полосы используемых частот, временного ресурса, скорости передачи информации, требований к помехоустойчивости и скрытности передаваемой информации рекомендуется использовать то или иное линейное разделение каналов.

Библиографический список

1. Макаренко С.И., Сапожников В.И., Захаренко Г.И., Федосеев В.Е. Системы связи. — Воронеж: Издание ВАИУ, 2011. — 285 с
2. Бабков В. Ю., Никитин А. Н., Осенний К. Н., Сивере М. А. Системы связи с кодовым разделением каналов. - СПб: ТРМАДА, 2003 - 239 с.
3. Тестоедов Н. А. Перспективы и приоритеты развития информационных систем/ Н. А. Тестоедов А. В. Кузовников - Космические аппараты и технологии. 2017. №1.

УДК 621.396; ГРНТИ 47.47

ПРИМЕНЕНИЕ АЛГОРИТМОВ МОРФОЛОГИЧЕСКИХ ОПЕРАЦИЙ ДЛЯ ОБРАБОТКИ ИЗОБРАЖЕНИЯ ПРИ ПЕРЕДАЧИ ДАННЫХ СО СПУТНИКОВЫХ СИСТЕМ

М.С. Поборуева, О.А. Бодров

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

Аннотация. В работе рассматриваются алгоритмы морфологических операций: эрозия, дилатация показано что, при применении их происходит улучшение качества входного изображения при передаче со спутниковых систем.

Ключевые слова: эрозия, дилатация, морфологические операции, спутниковые системы

APPLICATION OF ALGORITHMS OF MORPHOLOGICAL OPERATIONS FOR IMAGE PROCESSING WHEN TRANSMITTING DATA FROM SATELLITE SYSTEMS

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 algorithms of morphological operations: erosion, dilation it is shown that, when using them, the quality of the input image is improved during transmission from satellite systems

Keywords: erosion, dilation, morphological operations, satellite systems

Спутниковые системы играют важнейшую роль в повышении качества жизни людей в условиях современной высокотехнологичной экономики. От них в данное время зависимы все хозяйственные отрасли. В чрезвычайных ситуациях спутниковые системы позволяют спасти жизни и предоставляют важные знания о нашем мире и окружающей среде, спутниковая связь присутствует повсюду, но зачастую остается невидимой для широкой общественности, что свидетельствует об ее успешной интеграции в рынок электросвязи в целом, но и ограничивает порой точное понимание ее жизненно важного значения для взаимосвязанного мира. На сегодняшний день потребность в спутниковых системах передачи информации каждый день возрастает. Спутниковые системы включают не один спутник, а спутниковую группировку. Они применяются для различных научных работ, а также для исследований определенных целей человечества, сбора информации, которая служит для функционирования различных отраслей жизни.

При передаче информации, под которой подразумевается входное изображение происходит ухудшение его качества, что может привести к частичному или полностью искажению изображения. Так как передача данных осуществляется по каналу связи, а на них поступает обычно закодированная информация, из-за сторонних помех возникают ошибки и ухудшение передаваемой информации. Но в современном мире происходит постоянное совершенствование способов передачи информации. Увеличение количества абонентов в сис-

темах сотовой связи зачастую приводит к ухудшению качества передачи данных, в связи с этим встает вопрос о восстановлении исходного вида информации. Для восстановления исходного вида информации применяют морфологические операции.

Морфологические операции основаны на теории множеств и могут модифицировать изображение по какому-либо принципу. Важно отметить, что зачастую морфологические операции применяют над бинарными изображениями, то есть такими изображениями, каждый пиксель которого принимает только одно из двух возможных значений (условно 0 и 1). Самый простой пример: чёрно-белые изображения [1].

Основой всех морфологических операций является структурный элемент. Он представляет собой бинарное изображение сравнительно небольших размеров, которое имеют произвольную форму и некий начальный элемент (origin). Начальный элемент также называют ведущим элементом (anchor), шаблоном или маской. По своей сути это такая точка, которая может принадлежать или не принадлежать изображению, и относительно которой вычисляется соответствующая морфологическая операция. Часто ведущий элемент выбирают в центре изображения, исходя из принципов симметричности [2].

Примеры структурных элементов представлены на рисунке 1.

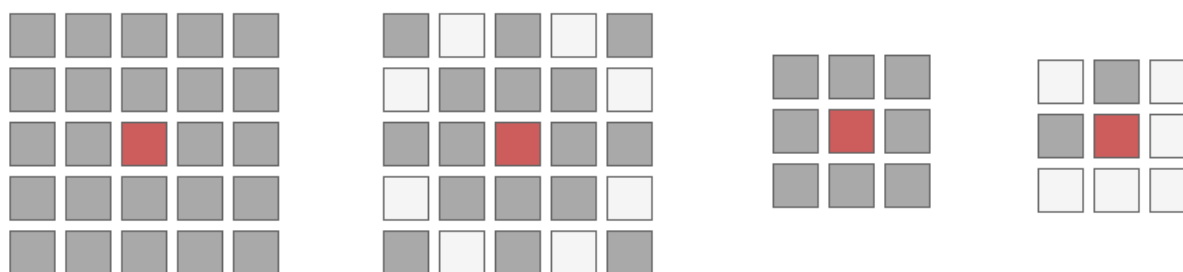


Рис. 1. Примеры структурных элементов

Операция «Дилатация»

Данная морфологическая операция предназначена для расширения границ у объектов исходного изображения.

Операция «Дилатация» состоит в следующем: структурный элемент последовательно проходит по всем пикселям изображения, совмещая ведущий элемент с текущим пикселем. Каждый раз, когда ведущий элемент совмещается с единичным бинарным пикселем, производится операция логического сложения над структурным элементом и соответствующими ему пикселями входного изображения. Результат такого сложения записывается в выходное изображение согласно координатам текущего просматриваемого пикселя.

Пример дилатации представлен на рисунке 2.



Рис. 2. Дилатация

По своей сути данная операция состоит всего лишь из вложенного цикла, который просканирует все пиксели изображения и в случае, если исходный пиксель единичный, произведёт ещё один вложенный цикл, который пройдёт по всему структурному элементу и выполнит логическое сложение всех его частей.

$$R_{xy} = 1, \text{ если } M_{ij} = 1,$$

$$i = \text{addition}, \text{width} + \text{addition},$$

$$j = \text{addition}, \text{height} + \text{addition},$$

где R – результирующий массив;

M – исходный массив изображения, выраженный в 0 и 1;

width – ширина входного изображения;

height – высота входного изображения;

addition – смещение по просмотру изображения, вычисляемое через размерность структурного элемента ($\text{addition} = (\text{sizeSE} - 1) / 2$);

x – индекс, по которому в результирующем изображении выберется строка для записи (рассчитывается через соотношение: $x = i - \text{addition} + a$);

$a = \overline{0, \text{sizeSE}}$;

y – индекс, по которому в результирующем изображении выберется столбец для записи (рассчитывается через соотношение: $y = j - \text{addition} + b$);

$b = \overline{0, \text{sizeSE}}$;

sizeSE – размерность структурного элемента.

Операция «Эрозия»

Данная морфологическая операция предназначена для сужения границ у объектов исходного изображения.

Операция «Эрозия» состоит в следующем: структурный элемент так же, как и в случае дилатации, последовательно проходит по всем пикселям изображения. Однако логическое сложение выполняется только в том случае, если каждый единичный пиксель структурного изображения попадает на единичный пиксель входного изображения. При этом складывается не весь структурный элемент, а только его ведущая позиция. Это приводит к уменьшению размеров всех объектов, что часто используется если требуется на изображении устранить шумы.

Пример эрозии представлен на рисунке 3.



Рис. 3. Эрозия

Операция эрозии несколько сложнее. Первым шагом должны посчитать все единичные значения в структурном элементе через вложенный цикл. Затем алгоритм схож с алгоритмом дилатации с той лишь разницей, что если просматриваемый пиксель входного изображения единичный, то производится подсчёт количества единичных значений через проверку значения структурного элемента и проверку соответствующего ему пикселя входного

изображения. Если число совпадений равно числу единичных значений, вычисленных на первом шаге, то по координатам ведущего элемента запишет единицу в выходное изображение.

$$R_{ij} = 1, \text{ если } M_{ij} = 1 \text{ и } temp = count,$$

$$i = \overline{\text{addition, width} + \text{addition}},$$

$$j = \overline{\text{addition, height} + \text{addition}},$$

где count – число единичных значений в структурном элементе;

temp – количество совпадений на равенство единице для SE_{ab} и M_{xy} .

В зависимости от применения морфологических операций дилатации или эрозии, происходит увеличение временного ресурса, скорости передачи информации, но улучшается качество передаваемой информации, что приводит к уменьшению трудозатрат.

Библиографический список

1. Мищенко В.К. Архитектура высокопроизводительных вычислительных систем [Электронный ресурс] : учебное пособие / В.К. Мищенко. — Электрон. текстовые данные. — Новосибирск: Новосибирский государственный технический университет, 2013. — 40 с. — 978-5-7782-2365-3. — Режим доступа: <http://www.iprbookshop.ru/44898.html>

2. Морфологические преобразования [Электронный ресурс]. URL: <https://intuit.ru/studies/courses/10621/1105/lecture/17989?page=4> (дата обращения: 18.10.2021).

УДК 621.455.4; ГРНТИ 55.42.49

МОДЕРНИЗАЦИЯ КОЛЬЦЕВОЙ КАМЕРЫ ЭЛЕКТРИЧЕСКОГО РАКЕТНОГО ДВИГАТЕЛЯ НА ЭФФЕКТЕ ХОЛЛА

А.О. Ермичёв, Р.А. Чесноков

*Рязанский государственный радиотехнический университет имени В.Ф. Уткина,
Российская Федерация, Рязань*

Аннотация. В обзорной работе рассмотрен ионный двигатель Холла, его конструкция и конструкция кольцевой камеры. Также предложена идея модернизации кольцевой камеры. *Ключевые слова:* электрический ракетный двигатель, космический аппарат, двигатель на эффекте Холла, катод, анод, кольцевая камера, плазма, эффект Холла, диэлектрическая плёнка, высокочастотное распыление.

MODERNIZATION OF THE RING CHAMBER OF AN ELECTRIC ROCKET ENGINE BASED ON THE HALL EFFECT

A.O. Ermichev, R.A. Chesnokov

*Ryazan State Radio Engineering University named after V.F. Utkin,
Russian Federation, Ryazan.*

Abstract. In the review paper, the Hall ion engine, its design and the design of the annular chamber are considered. The idea of upgrading the ring chamber will also be proposed.

Keywords: electric rocket engine, spacecraft, Hall effect engine, cathode, anode, annular chamber, plasma, Hall effect, dielectric film, high-frequency spraying.

Ежегодно в космос запускают сотни, если не тысячи ракет-носителей для транспортировки космических аппаратов. В 21 веке развитие современной науки сложно представить без КА, ведь они используются не только для изучения космоса, а также для проведения различного рода исследований на поверхности Земли. На данный момент ракета носитель является основным способом вывода полезной нагрузки на Земную орбиту.

На заре развития ракетной техники К. Э. Циолковским в 1912 году была предложена теоретическая модель электроракетной двигательной установки. В своих научных трудах он писал: «... С помощью электричества возможно будет придавать огромную скорость вылетающим из электрического ракетного прибора частицам». В 1916 — 1917 гг. Американский учёный Р. Годдарт экспериментально подтвердил реальность и целесообразность этой идеи, а в 30-х годах в СССР под руководством В. П. Глушко был создан один из первых действующих ЭРД.

Холловский ЭРД (двигатель на эффекте Холла) — это разновидность ионных ЭРД, в физике работы которого лежит эффект Холла, открытый Эдвином Холлом в 1879 году. В 1972 году в СССР была разработана первая модель такого двигателя, а в 1982 году было развёрнуто серийное производство.

Для начала разберёмся, что такое ионный ЭРД. Это тип двигателя КА, в котором происходит «холодный разгон» рабочего тела. Частицы рабочего тела теряют в ионизаторе свои электроны и разгоняются под действием электрического поля до большой скорости. То есть работа такого двигателя сводится к ускорению свободных зарядов (заряженных частиц одного знака). Проще говоря, в ионном двигателе (рис. 1) ускоряются положительно заряженные ионы.

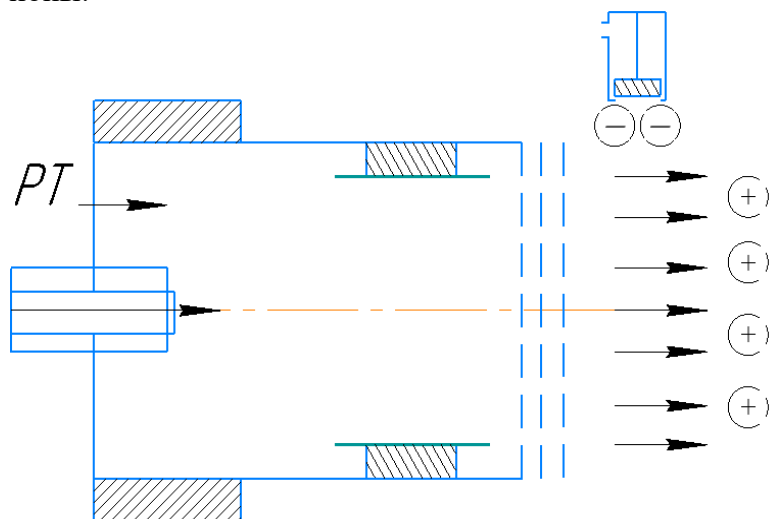


Рис. 1. Упрощённая схема ионного двигателя,

В таких двигателях высокое отношение заряда к массе, а также отсутствие температурных ограничений позволяет теоретически достичь огромных скоростей истечения, вплоть до скорости света [3]. Но на практике для достижения таких больших скоростей истечения потребуется огромная электростанция на борту КА. При этом масса двигательной установки значительно возрастает по сравнению с тяговыми характеристиками. Поэтому на сегодняшний день оптимальная скорость истечения лежит в пределах от 20 — 290 км/с. Ионный ЭРД применяется для коррек-

тировки движения или как главный тяговый двигатель небольших космических аппаратов.

Ионный двигатель Холла — это ионный двигатель, лишённый экранирующей, ускоряющей и замедляющей сетки. Важным преимуществом такого двигателя является отсутствие сеток, которые подвергаются постоянной бомбардировке высокоэнергетическими ионами, вследствие чего со временем они быстро деградируют. Также в таком двигателе разгон ионов происходит в плазме, поэтому экспериментально могут быть получены более высокие значения плотностей ионного тока. Что же касается других технических характеристик, то тут всё не однозначно. С одной стороны, стендовые испытания показали, что холловский двигатель по сравнению с ионным обладает большей тягой при одинаковом потреблении электроэнергии. Но с другой стороны, ионный двигатель с решёткой позволяет получить больший удельный импульс, при этом расходуя в разы меньше рабочего тела. Оба двигателя конструкционно имеют свои плюсы и минусы. И выбор той или иной конструкции зависит от выполняемых задач.

В Холловском двигателе ускоряющая электромагнитная сила возникает при взаимодействии внешнего магнитного поля с вторичными токами (т.н. токи Холла). Принцип действия заключается в создании и ускорение плазмы в электрическом газовом разряде в пер-

пендикулярно расположенных магнитном и электрическом полях, обеспечивающих замкнутый дрейф электронов [1]. Рабочим телом холловских ЭРД, чаще всего, является криптон, ксенон, литий или пары щелочных металлов. Например, в спутниках Starlink компании SpaceX используются двигатели, работающие на эффекте холла, с использованием криптона в качестве рабочего тела. В технической литературе Холловские двигатели иногда относят к подклассу электростатических ЭРД, а иногда выделяют в отдельный подкласс.

Упрощенная модель холловского двигателя

Разность потенциалов между внешним отрицательным катодом и внутренним положительным анодом формирует преимущественно осевое электрическое поле в кольцевой камере.

Внешний катод испускает электроны. Некоторые из этих электронов дрейфуют к аноду. Комбинация радиального магнитного поля с осевым электрическим полем (рис. 2) за-

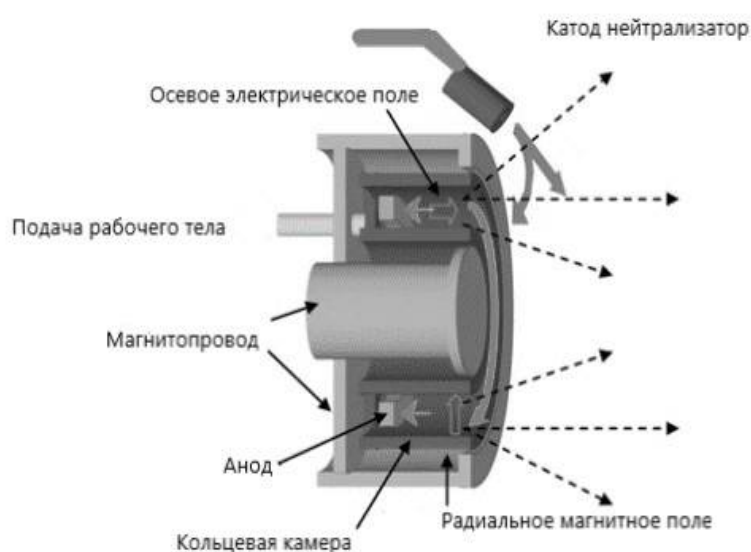


Рис. 2. Упрощенная модель ЭРД на эффекте Холла [1]

ставляет электроны, захваченные в кольцевой камере, вращаться вокруг оси двигателя, создавая тем самым ток Холла.

Через анод-инжектор рабочее тело поступает в кольцевую камеру, где электроны, циркулирующие по кругу, сталкиваются с атомами рабочего тела (ксенона, криптона), превращая их в положительные ионы. Далее плазма, состоящая из положительных ионов и электронов, ускоряющаяся под воздействием магнитного поля, образованного взаимодействием преимущественно радиального магнитного поля с токами Холла, вылетает из сопла двигателя.

Анализ основных факторов, действующих на кольцевую камеру

Кольцевая камера выполнена в виде двух полых цилиндров разного диаметра, встав-

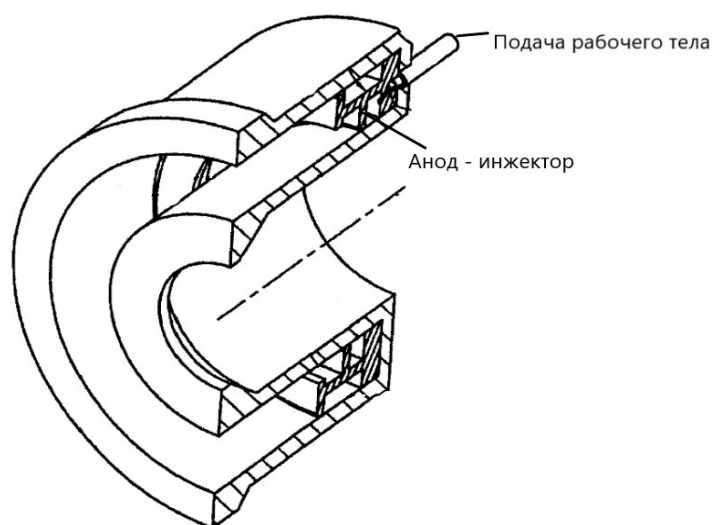


Рис. 3. Кольцевая камера в разрезе [1]

ленных друг в друга (рис. 3). С одной стороны, в камеру подается рабочее тело, а с другой происходит истечение плазмы. Также вокруг камеры расположен магнитопровод. Кольцевая камера изготавливается из диэлектрического материала.

В первую очередь нужно рассмотреть факторы, влияющие на диэлектрики, а точнее на величину диэлектрической проницаемости. Диэлектрическая проницаемость зависит от окружающих параметров (температуры, давления и пр.), частоты напряжения, приложенного к диэлектрику, однородности диэлектрика.

Также нужно учитывать такое явление как электрический пробой диэлектрика. Это явление образования под действием электрического поля проводящего канала. Величина, характеризующая способность противостоять пробую, называется электрической прочностью. Значение электрической прочности $E_{пр.}$ рассчитывается из соотношения:

$$E_{пр.} = \frac{U_{пр.}}{d} \left[\frac{В}{М} \right]$$

Во вторых, стоит учитывать факторы космического пространства: солнечное электромагнитное излучение, вакуум, температура, потоки твёрдых частиц и т.д.

Наши предложения по модернизации для улучшения качественных показателей

Вследствие того, что на КА действуют строгие ограничения по весу и материалам изготовления, а значит и на саму двигательную установку также будут распространяться эти ограничения. Наше предложение – улучшить качественные показатели путём получения на стенках камеры диэлектрической плёнки необходимой толщины высокочастотным распылением.

Модернизация корпуса путём высокочастотного распыления позволяет уже сейчас повысить качественные характеристики, не нарушая допуски, и не сильно увеличивая бюджет разработки электрореактивной двигательной установки. Особенно учитывая то, что разработки в этом направлении ведутся, и уже есть примеры рабочих макетов.

Модель эксперимента и экспериментальной установки

Метод ВЧ распыления является частным случаем катодного распыления, в свою очередь катодное распыление является частным случаем ионно – плазменного распыления. Данный метод используется преимущественно для распыления диэлектрических плёнок.

Для распыления диэлектрической мишени подают между катодом – мишенью и анодом переменное напряжение частотой 1 – 20 МГц. (сейчас используются в основном технические установки с частотой 13,56 МГц, поэтому этот метод называют ещё радиочастотным). Соблюдая это условие, мишень будет обстреляна потоком положительно заряженных ионов и электронов. При отрицательном потенциале мишень будет распыляться ионами, а при положительном потенциале произойдёт нейтрализация заряда потоком электронов [4].

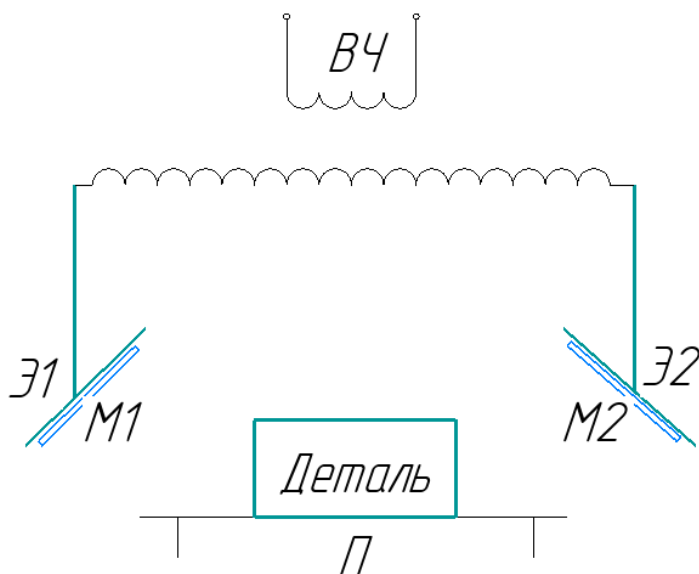


Рис. 4. Схема ВЧ распыления

Рассмотрим схему двух - электродного высокочастотного (радиочастотного) распыления (рис. 4). Поместим заготовку в виде полого цилиндра на подложку П. В установке высокочастотного распыления мишени M1 и M2 из распыляемого диэлектрика устанавливаются почти вплотную к электродам Э1 и Э2. Как упоминалось выше, в такой установке диэлектрические мишени бомбардируются попеременно ионами и электронами тлеющего разряда. Ионы выбивают молекулы из диэлектрических мишеней, которые затем распыляются на подложку (деталь). Электроны, в свою очередь, препятствуют образованию положительных зарядов на подложке (детали). Образование ионов и электронов

происходит в пространстве, заполненном газом (чаще всего аргоном), окружающим диэлектрические мишени. На выходе мы получаем изделие, покрытое диэлектрической пленкой.

Диэлектрические пленки должны соответствовать ряду требований. Быть однородным по толщине и структуре. Параметры пленок должны надежно контролироваться, а метод получения пленок должен быть максимально автоматизирован, экономичен и безопасен. Метод высокочастотного (радиочастотного) распыления удовлетворяет ряду этих условий.

В качестве примера рассмотрим характеристики некоторых диэлектрических плёнок, которые теоретически должны получиться на стенках камеры путём высокочастотного распыления. В таблице приведены наиболее подходящие диэлектрические плёнки для покрытия стенок камеры:

1. Оксид кремния
2. Оксид бора
3. Оксид алюминия
4. Нитрид бора

Характеристики	Плёнки			
	SiO ₂	B ₂ O ₃	Al ₂ O ₃	BN
Диэлектрическая проницаемость ϵ	3,95	4,25	8,55	1,76
Электрическая прочность, $E_{пр.} (В/М) * 10^8$	5 – 7	5 - 7	7 – 8	5-7
Удельное сопротивление (Ом*М)	10 ¹¹	10 ¹¹	10 ¹⁰	10 ¹²
Толщина плёнки (нм)	50 – 1300	80 – 1300	100 – 1100	40 – 1200

Библиографический список

1. Холловские и ионные плазменные двигатели для космических аппаратов/О.А. Горшков, В.А. Муравлев, А.А. Шагайда; под ред. академика РАН А.С. Коротева. М.: Машиностроение, 2008. 280 с.
2. Электрические ракетные двигатели/Гришин С.Д., Лесков Л.В., Козлов Н.П.: машиностроение, 1985. 140 – 149 с.
3. Гришин С. Д., Лесков Л. В. Электрические ракетные двигатели космических аппаратов. — М.: Машиностроение, 1989. — 19 с.
4. Данилин Б. С. – вакуумное нанесение тонких плёнок; под общей редакцией Р.А.Нилендера, 1967. 24 – 25 с.

УДК 678.026; ГРНТИ 55.47

ИСПОЛЬЗОВАНИЕ СВЕРХГИДРОФОБНЫХ ПОКРЫТИЙ В БОРЬБЕ С ОБЛЕДЕНЕНИЕМ ЛЕТАТЕЛЬНЫХ АППАРАТОВ

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 основные способы борьбы с обледенением конструктивных элементов летательных аппаратов, условия возникновения обледенения, виды ледяных образований и их воздействие на аэродинамические характеристики. Так же будет предложен способ модернизации поверхностей с помощью сверхгидрофобного покрытия и специальных красок на основе углеродных нанотрубок.

Ключевые слова: сверхгидрофобность, покрытия, летательный аппарат, самолёт, корпус самолёта.

THE USAGE OF SUPERHYDROPHOBIC COATINGS AS STRUGGLING AGAINST ICING OF AIRCRAFT

A.V. Kochetkov, R.A. Chesnokov

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

The summary. The work examines the main methods of anti-icing of aircraft structural elements, the conditions for the occurrence of icing, the types of ice formations and their impact on aerodynamic characteristics. There will also be proposed a way to modernize surfaces using a superhydrophobic coating and special paints based on carbon nanotubes.

Keywords: superhydrophobic, coatings, aircraft, jet, the body of the aircraft.

Для современного человека летательные аппараты не являются чем-то феноменальным или экстраординарным, хотя с момента первого свободного полёта человека прошло всего лишь чуть более двухсот лет. С тех пор воздушные средства передвижения множество раз меняли свои конструкции, которые модернизировались и совершенствовались благодаря огромному труду учёных и инженеров. С течением времени изменялись как предназначение, так и лётно-технические характеристики летательных аппаратов. Уже сегодня в небе находится примерно 10-13 тысяч самолётов одновременно. Однако до сих пор одним из основных осложнений при использовании данного вида транспорта остаётся проблема обледенения. Актуальные методы борьбы с ним (рис. 1) обладают большим количеством недостатков и во многом экономически нецелесообразны, а некоторые и вовсе наносят урон экологии [1].



Рис. 1. Способы борьбы с обледенением

Представленные методы либо увеличивают массу, внося значительные ограничения и сложности в проектирование летательного аппарата, либо требуют использование специализированной техники и строгого надзора. Например, физико-химический способ основывается на применении в качестве противообледенительной жидкости гликолей в сочетании с раз-

личными добавками повышенной токсичности. Вредность этого метода доказана во многих научных публикациях. Малейшая утечка подобных веществ в почву ведёт к необратимому вредному воздействию на микроорганизмы и грунтовые воды, из-за чего такой способ нуждается в осмысленном подходе, высококвалифицированном персонале и максимально возможном контроле.

Тем не менее отказ от любых противообледенительных систем (ПОС) приводит к трагическим последствиям. Обледенение кардинально меняет аэродинамические характеристики летательного аппарата. Снижение подъёмной силы и потеря тяги – лишь малая часть последствий. Из-за адиабатического расширения воздуха лёд может образовываться на элементах двигателей даже при положительных температурах, что нивелирует полезность тепловых ПОС. Согласно мировой статистике от 25 до 40 процентов всех авиакатастроф происходит из-за обледенения ключевых частей и устройств самолёта.

Вследствие вышеперечисленных причин возникает острая необходимость создания принципиально новых и перспективных методов борьбы с обледенением. Одним из таких методов является использование сверхгидрофобных покрытий в конструктивных элементах летательного аппарата.

Условия возникновения обледенения

Возникновение льда на поверхностях конструктивных элементов летательных аппаратов происходит на высотах от 7 км (на полюсах планеты) до 16 км (на экваторе) [2]. В этих границах воздушная масса представляет собой смесь газов, воды в различных агрегатных состояниях и разнообразных органических и неорганических соединений. Множественные тепловые процессы, взаимодействие воздушных масс различных температур друг с другом и изменение давления воздуха в зависимости от высоты обеспечивают образование известных нам погодных явлений: формирование облаков и выпадение осадков.

Наиболее частым фактором образования льда на поверхности самолёта является полёт в среде, насыщенной большими объёмами воды в виде капелек, в условиях отрицательной температуры (до -20 градусов по Цельсию). Таким образом, обледенение с повышенной вероятностью возникает в районах с экваториальным или тропическим дождливым климатом, то есть в областях с высокой влажностью воздуха.

Основным параметром для установления взаимосвязи погодного явления с вероятностью образования льда является водность W , измеряемая в количестве грамм конденсата воды на кубический метр воздушного пространства. Экспериментальным путём была выявлена линейная зависимость между температурой и водностью (табл. 1), соответственно, значение этого параметра может существенно изменяться в пределах не только определённой формы облаков, но и одного облака в целом. По этой причине, используются усреднённые по большей площади величины водности, тождественные кубическому метру. Взаимосвязь вероятности обледенения, температуры воздуха и типа облаков можно представить в виде таблицы 2.

Таблица 1 – Зависимость водности от температуры

t, °C	0	-5	-10	-15	-20	-25	-30
W, г/м ³	4,6	1,08	0,9	0,73	0,6	0,52	0,47

Для большей наглядности приведём эти данные в виде графика (рис. 2) на котором видно, что содержание конденсата воды в пространстве резко падает при малейшем понижении температуры ниже нуля.

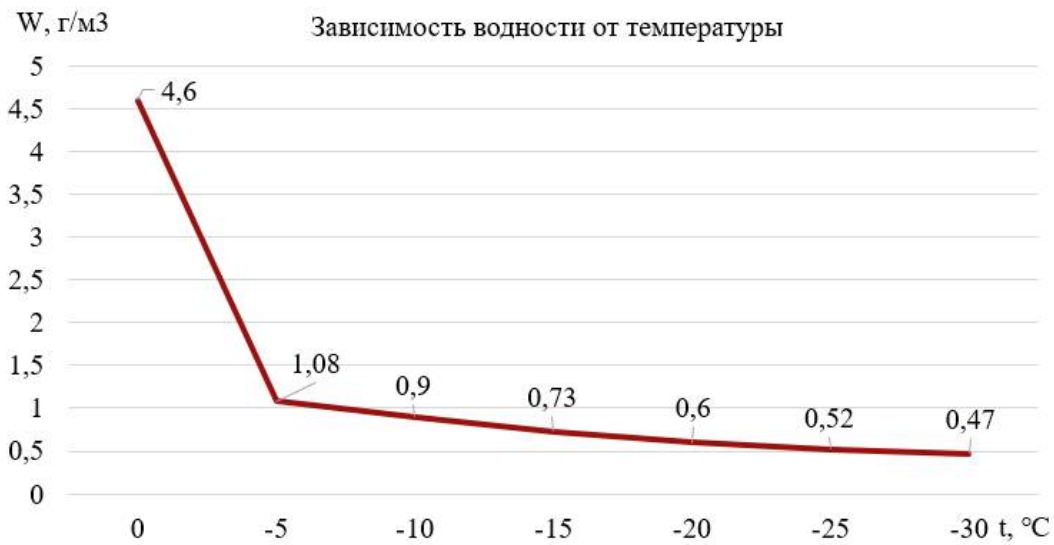


Рис. 2. Зависимость влажности от температуры

Таблица 2 – Вероятность обледенения в зависимости от типа облаков

Вероятность обледенения	Типы облаков		
	Кучевые	Слоистые	Дождь и изморозь
Высокая	от 0 до -20 °С	от 0 до -15 °С	0 °С и ниже
Средняя	от -20 до -40 °С	От -15 до -30 °С	–
Низкая	меньше -40 °С	меньше -30 °С	–

Виды льда и их воздействие на аэродинамику летательного аппарата

При рассмотрении новых способов борьбы с обледенением стоит учитывать, что лёд на таких высотах отличается многообразием форм, условий возникновения и воздействием на лётные характеристики летательных аппаратов. Для обеспечения комплексного подхода к решению задачи исследования возможности использования сверхгидрофобных покрытий и упрощения понимания процессов, речь о которых пойдёт в следующих пунктах статьи, необходимо условно разделить лёд на несколько основных видов и описать их свойства.

Легче всего на поверхностях самолёта появляется лёд, называемый рыхлым (рис. 3). Он образуется в самом широком диапазоне температур (от 0 до -40°С) [2] и представляет собой достаточно ломкую пористую структуру, вследствие чего образуется так же легко, как и удаляется стандартными противообледенительными системами. Хрупкость данного вида льда объясняется малым количеством воды, сохраняющимся после начала замерзания и недостаточным для возникновения сплошного толстого слоя. Ввиду малой плотности и медленного нарастания в большинстве случаев не приводит к ощутимым последствиям. Но в то же время, имеет возможность влиять на аэродинамические характеристики крыльев и воздухозаборников двигателей. Становится довольно опасным при наращивании плотности с увеличением продолжительности полёта.



Рис. 3. Рыхлый лёд на крыле самолёта

Образование гладкого льда (рис. 4) происходит в нижних слоях дождевых облаков при температурах близких к $0\text{ }^{\circ}\text{C}$. В данном случае значительной части капель хватает времени растечься и создать гладкий слой твёрдого стекловидного льда высокой плотности по контуру обтекаемой поверхности. В дальнейшем возможно формирование больших гребневидных наростов, что грозит критическими нарушениями аэродинамических свойств. Стоит отметить, что соскальзывание или отделение больших частей этого льда легко может привести к повреждению корпуса или двигателей самолёта.

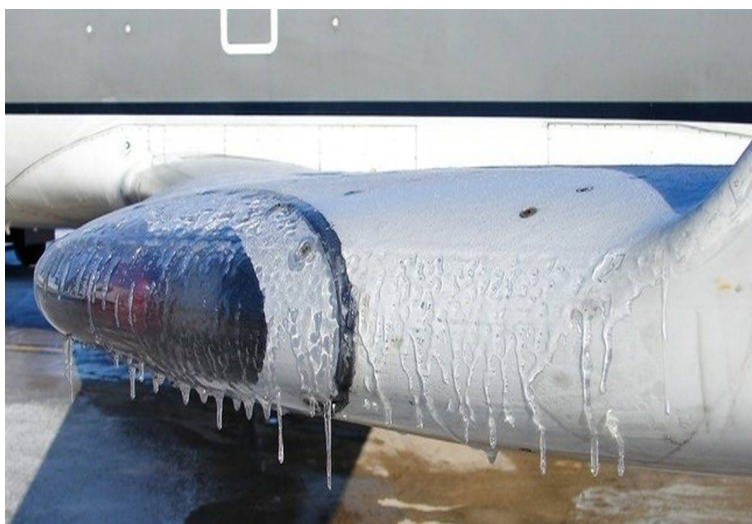


Рис. 4. Гладкий лёд на крыле самолёта

Преимущественно ледяные образования имеют смешанную структуру (рис. 5). Очевидно, что в естественных условиях в облаках присутствуют капли как малых, так и больших размеров, что приводит к возникновению рыхлого и гладкого льда одновременно.



Рис. 5. Смешанный лёд на крыле самолёта

Адгезия льда к поверхности и наши предложения модернизации

Для модернизации конструктивных элементов при помощи сверхгидрофобных покрытий самолёта рассмотрим основные силы, действующие на капли (рис. 6). После оседания капель на поверхности летательного аппарата проявляется эффект смачивания, заключающийся во взаимодействии молекул жидкости с молекулами твёрдого тела. Мерой такой взаимосвязи считается краевой угол θ . Адгезия ($\sigma_{тг}$) – сила, которая стремится распределить молекулы жидкости по поверхности. Когезия ($\sigma_{тж}$) – сила взаимодействия между молекулами капли. Поверхностное натяжение ($\sigma_{гж}$) – сила взаимодействия между молекулами жидкости и газа, которая старается сократить поверхность капли. Устойчивость границ капли говорит о том, что система сил является уравновешенной. Соответственно косинус краевого угла возможно представить в виде:

$$\cos \theta = \frac{\sigma_{тг} - \sigma_{тж}}{\sigma_{гж}}.$$

Вычисляя значения этих сил через их работу по изменению площади поверхности капли, косинус краевого угла можно записать по формуле Юнга:

$$\cos \theta = \frac{\gamma_{тг} - \gamma_{тж}}{\gamma_{гж}}.$$

Исходя из этой формулы можно сделать вывод о том, что от величины угла θ зависит взаимодействие молекул жидкости с молекулами твёрдого тела. Так, если θ меньше 90 градусов, поверхность считается гидрофильной, если θ больше 90 градусов – гидрофобной. При использовании данных результатов важно учитывать естественное ограничение – максимальное значение краевого угла θ для таких материалов 120 градусов. Однако этот лимит элементарно преодолевается с помощью изменения рельефа поверхности. Примером тому могут служить листья лотоса (рис. 7), которые не только усыпаны шероховатыми бугорками, способствующими увеличению краевого угла, но и покрыты гидрофобным воскоподобным веществом. Такая комбинация делает поверхность листьев сверхгидрофобной и позволяет цветку самоочищаться.

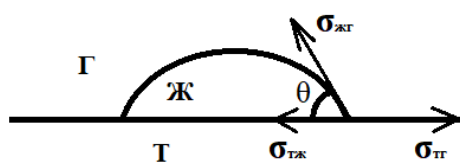


Рис. 6. Капля воды на поверхности твёрдого тела

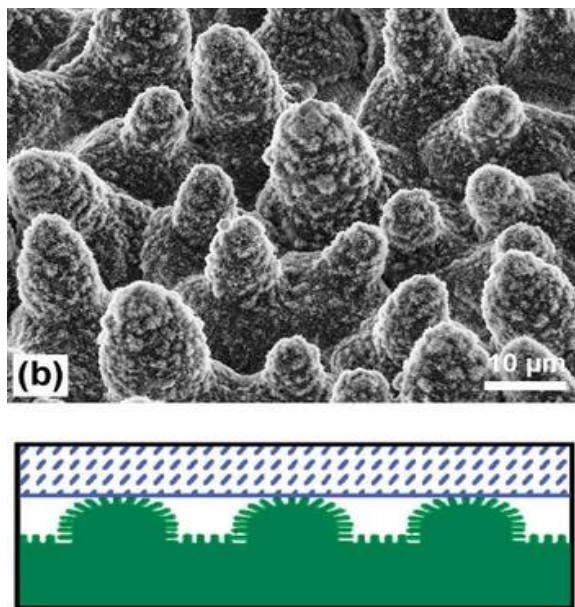


Рис. 7. Поверхность листа лотоса в электронном микроскопе

Величина угла при котором начинается скатывание определяется как сила трения покоя жидкости с поверхностью. Многочисленными опытами установлена отчётливая зависимость величины адгезии от корреляции краевого угла и угла скатывания. Для увеличения сопротивляемости конструкций летательного аппарата обледенению требуется предельно снизить величину адгезии и угла скатывания. Вместе с этим для правильной оценки полученных экспериментальных данных необходимо принимать во внимание некоторые интересные нюансы. В частности, величина адгезии стекла и фторопласта почти что одинакова при том, что поверхности из стекла гидрофильны, а поверхности из фторопласта гидрофобны. Подобное явление объясняется разностью сил трения для каждого из этих материалов. К примеру, угол скатывания (табл. 3) для стекла примерно в 3,5 раза меньше угла скатывания для фторопласта, что говорит о возникновении на последнем высокой силы трения и торможении движения капли.

Таблица 3 – Сравнительный анализ величины адгезии различных покрытий

Материал	Краевой угол, θ°	Угол скатывания, α°	Величина адгезии, кгс/см ²
Фторопласт	95	68	0,14
Стекло	7	19	0,15
Оргстекло	72	32	0,05
Силиконовое покрытие	110	27	0,013
Сверхгидрофобный материал с покрытием из УНТ	150-170	7	<<0,013

Наше предложение – улучшить рассмотренные характеристики путём использования в создании конструктивных элементов гидрофобных материалов с рельефом, повышающим гидрофобность поверхности и уменьшающим влияние адгезии на капли воды. Для усиления эффекта возможно нанесение специальных красок на основе углеродных нанотрубок (УНТ), способных нагревать поверхности самолёта при этом потребляя минимум энергии [3]. Преимущества данного способа борьбы с образованием льда очевидны: такая комбинация средств позволит сэкономить место и снизить массу и энергозатраты летательного аппарата за счёт устранения неэффективных противообледенительных систем.

С развитием технологий и ростом населения Земли количество самолётов будет только возрастать, а значит вопрос усовершенствования и модернизации актуален. По этой же причине стандарты безопасности при разработке и производстве летательных аппаратов уже в ближайшее время могут быть переработаны и значительно ужесточены. Предложенное нами решение позволяет принципиально пересмотреть подход к обеспечению противообледенительной безопасности, тем более что некоторыми частными компаниями и институтами проведены опытно-конструкторские разработки в этой области.

Библиографический список

1. Воздействие гликолей в составе противообледенительных жидкостей на окружающую среду / Н.Е. Кашапова, Н.Ю. Башкирцева, Ю.С. Овчинникова и др. // Вестник КНИТУ. – 2015. – Т. 18. - № 5 – С. 209-212.
2. А.А. Приходько, С.В. Алексеенко. Обледенение аэродинамических поверхностей: условия возникновения и методики расчёта / Днепропетровский национальный университет имени Олеся Гончара, 2012. – С. 38-40 [Электронный ресурс: <https://www.researchgate.net/publication/321369105>].
3. И.О. Бобарика, А.О. Цыбина. Применение нанотехнологий для борьбы с обледенением летательных аппаратов / Иркутский национальный исследовательский технический университет. – С. 4.

УДК 629.196.3; ГРНТИ 89.57.35

ИССЛЕДОВАНИЕ ВИДОВ МАНИПУЛЯЦИИ, ИСПОЛЬЗУЕМЫХ В СИСТЕМАХ ДИСТАНЦИОННОГО НАБЛЮДЕНИЯ ЗЕМЛИ

Л.Л. Кузнецов

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

Аннотация. В работе рассматриваются виды цифровой модуляции (манипуляции), используемые в космической связи в системах дистанционного наблюдения Земли; проводится их сравнение по ряду показателей.

Ключевые слова: цифровая модуляция, манипуляция, космическая связь, дистанционное наблюдение Земли.

TYPES OF MANIPULATION USED IN EARTH REMOTE SENSING SYSTEMS RESEARCH

L.L. Kuznetsov

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

Abstract. The paper considers types of digital modulation (manipulation) used in space communications in Earth remote sensing systems; their comparison on different indexes is made.

Keywords: digital modulation, manipulation, space communications, Earth remote sensing.

В космической связи из-за больших расстояний между точками передачи и приёма существует ряд особенностей, которые необходимо учитывать для организации стабильного высокоскоростного обмена информацией. К таким особенностям относятся погодные

условия (например, облачность), помехи от естественных или искусственных источников, высокие уровни мощности передатчиков и связанные с ними ограничения в режимах работы усилителей и т.д. В связи с этим, к сигналам, передающим информацию, предъявляются различные требования касательно их помехоустойчивости, занимаемой полосы частот, скорости передачи и других аспектов. Таким образом, накладывается ограничение на виды модуляции, которые можно применять к данным сигналам. В этой работе будут рассмотрены основные виды цифровой модуляции (манипуляции), используемые в системах космической связи и, в частности, в системах дистанционного наблюдения Земли, а также будет проведено их сравнение по основным показателям.

Наиболее широко распространённым стандартом цифрового спутникового вещания является стандарт DVB-S2, применяемый, например, в российских спутниках «Ямал-200». Данный стандарт поддерживает следующие виды манипуляции: 4- и 8-позиционную фазовую манипуляцию (QPSK и 8-PSK) и 16- и 32-позиционную амплитудно-фазовую манипуляцию (16-APSK и 32-APSK). Рассмотрим особенности манипуляций этих групп.

Фазовая манипуляция

При фазовой манипуляции сигнал имеет следующий вид

$$s_i(t) = \sqrt{\frac{2E}{T}} \cos[\omega_0 t + \varphi_i(t)], 0 \leq t \leq T, i = 1, \dots, M.$$

В этом случае фазовый член $\varphi_i(t)$ может принимать M дискретных значений, обычно определяемых следующим образом

$$\varphi_i(t) = \frac{2\pi i}{M}, i = 1, \dots, M$$

Все виды фазовой манипуляции основаны на двоичной фазовой манипуляции (ДФМн/BPSK), так как имеют кратное ей число фазовых состояний. В BPSK для отображения двоичного 0 или 1 доступны всего два фазовых состояния, а символьная скорость равна скорости передачи данных.

Сигнальное созвездие BPSK сигнала представлено на рисунке 1.

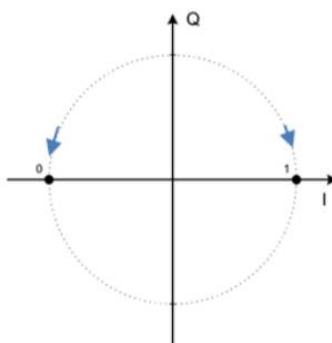


Рис. 1. Сигнальное созвездие для сигнала с BPSK

Пример сигнала с BPSK показан на рисунке 2.

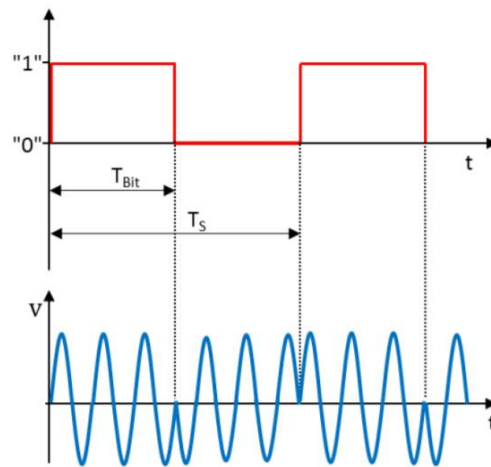


Рис. 2. Сигнал с BPSK

При BPSK изменение фазы происходит на 180 градусов. Полоса частот модулированного сигнала при этом равна $B_{PM} = 1,4f_0$ [1]. Такой метод манипуляции обладает высокой помехоустойчивостью, однако из-за того, что передаётся всего один бит на символ, скорость передачи и эффективность использования полосы частот невысоки. Более высоких скоростей передачи можно достигнуть, используя квадратурную фазовую манипуляцию (QPSK), при которой передаются 2 бита на символ. Это соответствует 4 разным символьным состояниям, что представлено на рисунке 3.

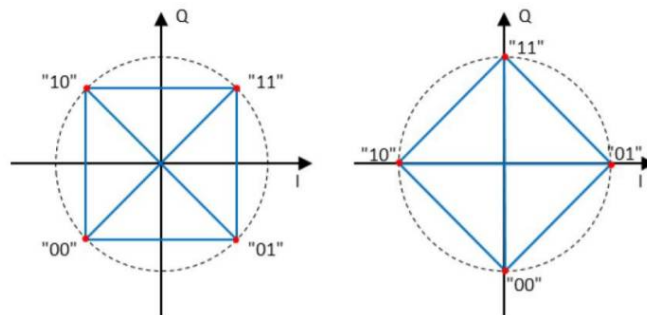


Рис. 3. Символьные состояния при квадратурной фазовой манипуляции

Ширина спектра сигнала QPSK наполовину меньше сигнала BPSK, и минимально необходимая полоса частот становится равной $B_{QPSK} = \frac{1}{2}f_0$. На практике полоса выбирается в 1,4 раза шире для обеспечения правильной передачи и декодирования сигнала и равняется $B_{QPSK} = 0,7f_0$.

Как видно из рисунка 3, переход между двумя диагонально расположенными точками сигнального созвездия пересекает нулевую точку. Это означает, что мощность несущей сильно колеблется и возвращается к нулю при пересечении нулевой точки. В результате возникает нежелательная амплитудная модуляция несущей. Она нежелательна, потому что при использовании высокоэффективного нелинейного усилителя класса C паразитная модуляция приводит к падению уровня сигнала ниже отсечки, в результате транзистор запирается, и сигнал на выходе пропадает. Для избежания сильных искажений сигнала в этом случае можно применять усилитель класса A, рабочая точка которого находится в середине линейного участка, но такой усилитель обладает низким КПД. Другим недостатком QPSK является то,

что в спектре сигнала спектральная линия на частоте f_c отсутствует, и в результате текущий фазовый угол не привязан к фазе несущей, а пересечения нулевой точки затрудняют точное восстановление несущей частоты с соответствующим фазовым углом (когерентную демодуляцию).

При восьмипозиционной фазовой манипуляции (8-PSK) сигнал имеет 8 символьных состояний и передаёт три бита на один символ. Сигнальное созвездие для такого сигнала показано на рисунке 4.

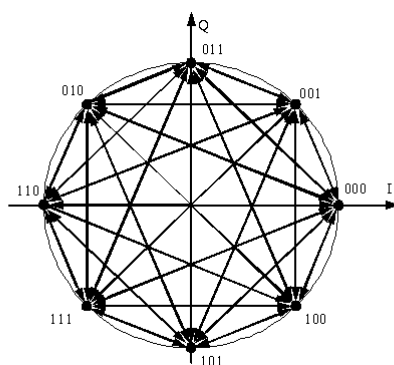


Рис. 4. Сигнальное созвездие сигнала с 8-PSK

Спектр сигнала с восьмипозиционной фазовой манипуляцией не отличается от спектра сигнала с QPSK [2].

При одинаковом отношении сигнал/шум (ОСШ) наибольшей помехоустойчивостью обладает двойная фазовая манипуляция, однако скорость передачи у неё наименьшая. С ростом числа сигнальных точек в сигнальном созвездии увеличивается скорость передачи информации, однако расстояние между точками уменьшается. Действие помех может перевести одно состояние в другое, что приведёт к ошибке на приёме, поэтому с ростом скорости передачи информации помехоустойчивость манипуляции уменьшается. Исключением является манипуляция QPSK, которую можно представить как квадратурный метод, состоящий из двух BPSK методов с несущими, сдвинутыми на 90° . Такая ортогональность обеспечивает отсутствие влияния между BPSK методами, из-за чего помехоустойчивость QPSK аналогична BPSK.

Амплитудно-фазовая манипуляция

При амплитудно-фазовой манипуляции (АФМн/APSK) сигнал описывается следующим образом

$$s_i(t) = \sqrt{\frac{2E_i}{T}} \cos[\omega_0 t + \varphi_i(t)], \quad 0 \leq t \leq T, \quad i = 1, \dots, M.$$

В этом случае изменяются и амплитуда сигнала, и его фаза. Если в двумерном пространстве сигналов между M сигналами набора (сигнальными точками) угол прямой, то схема называется квадратурной амплитудной манипуляцией. Этот вид манипуляции получил наибольшее распространение среди сигналов с APSK.

Сигнальные созвездия сигналов с QASK показаны на рисунке 5.

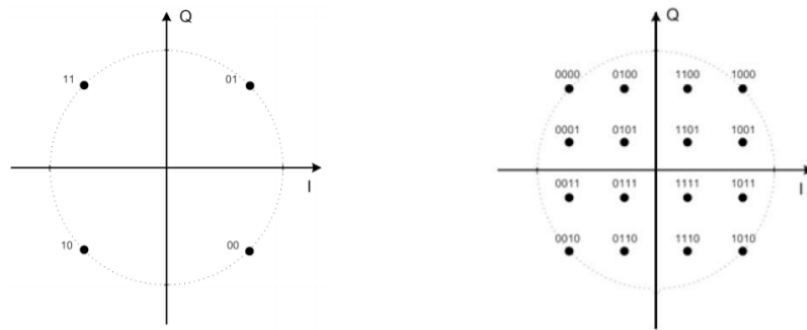


Рис. 5. Сигнальные созвездия сигналов с QASK-4 и QASK-16

Чем больше порядок QASK, тем меньше евклидово расстояние между точками сигнального созвездия, и тем сложнее приёмнику правильно распознать передаваемый символ при действии помех. Например, манипуляция типа QASK-256 с таким же количеством сигнальных точек используется только в широкополосных сетях с низким уровнем шума.

В спутниковых линиях связи высокомогущные усилители на лампах бегущей волны и твердотельные усилители мощности, используемые для передачи сигнала, работают на границе или на самом нелинейном участке для максимизации их выходной мощности с учётом ограничений мощности спутника. Искажения, вызванные таким режимом работы, могут сдвинуть сигнальные точки, что затруднит распознавание передаваемой позиции сигнала. В QASK манипуляции «внутренние» позиции с малой амплитудой несущей не подвергаются искажению, в то время как «внешние» позиции вызывают нелинейные искажения.

Существуют два типа искажений: AM/AM, которые сдвигают внешние позиции к центру сигнального созвездия, и AM/PM, которые вызывают вращение этих позиций относительно внутренних. В результате из-за плотного расположения сигнальных точек (малого евклидова расстояния между ними), одни точки могут переходить в другие, что будет вызывать ошибки, которые полностью скорректировать может и не получиться.

В отличие от QASK, APSK в спутниковых линиях является намного более устойчивой к искажениям при той же спектральной эффективности благодаря особому расположению сигнальных точек: они формируют концентрические круги с постоянной амплитудой, что представлено на рисунке 6.

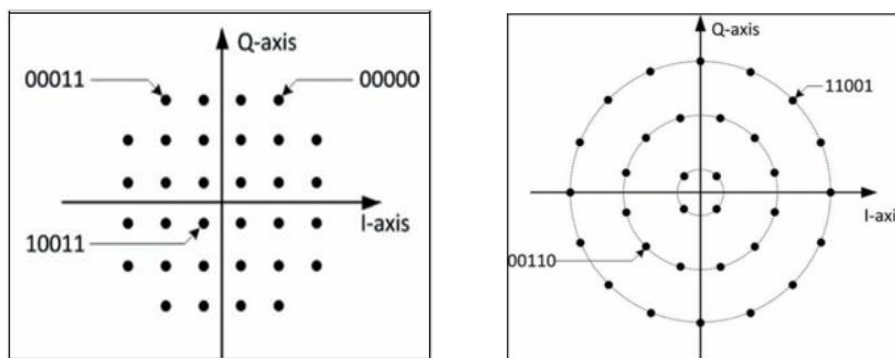


Рис. 6. Созвездия сигналов с QASK-32 и APSK-32

Преимуществами APSK в данном случае являются меньшее влияние искажений на различение сигнальных точек благодаря большему среднему евклидову расстоянию и возможность внесения предсказаний, варьируя расстоянием между кольцами таким образом, чтобы противодействовать эффектам искажений, вызванных усилителями.

Сравнение методов манипуляции

В таблице 1 представлено сравнение наиболее часто используемых видов манипуляции по основным показателям.

Таблица 1. Сравнение различных методов фазовой и амплитудно-фазовой манипуляций

Модуляция	QPSK	8-PSK	16-PSK	16-APSK	16-QASK	32-APSK	32-QASK
Состояний амплитуды	1	1	1	2	3	3	5
Состояний фазы	4	8	16	12	12	24	28
Состояний несущей	4	8	16	16	16	32	32
Теоретическая максимальная спектральная эффективность, (бит/с)/Гц	2	3	4	4	4	5	5
Практическая спектральная эффективность, (бит/с)/Гц	1,4	2,1	2,8	2,8	2,8	3,6	3,6
ОСШ, дБ для $BER = 10^{-6}$, практ.	13,7	18,8	24	19,8	20,5	23,6	24
Пик-фактор, дБ [3]	0	0	0	2,38	2,56	2,16	2,3

Как видно из данной таблицы, спектральная эффективность возрастает при увеличении позиционности манипуляции, с увеличением которой требуется повышение ОСШ для поддержания определённого коэффициента битовых ошибок. По пик-фактору лучшими являются фазовые манипуляции, поскольку пиковое значение напряжения равняется эффективному. Манипуляции 16-PSK и 16-QASK имеют одинаковую спектральную эффективность, однако помехоустойчивость второй выше, поскольку евклидово расстояние между сигнальными точками больше. Что касается сравнения APSK и QASK, то, помимо вышесказанного, APSK имеет небольшой выигрыш по пик-фактору.

Библиографический список

1. R. Wagner, M. Reil. Модуляция и формирование сигналов с помощью генераторов сигналов компании R&S. Обучающие материалы.
2. Восьмипозиционная фазовая модуляция (8-PSK). Метод доступа: <https://digteh.ru/UGFSvSPS/modul/8PSK/>
3. Ершов А.Н., Берёзкин В.В. Особенности расчёта и проектирования высокоскоростных радиолиний космических аппаратов ДЗЗ. Ракетно-космическое приборостроение и информационные системы. Том 5. 2018

УДК 004.932; ГРНТИ 28.23.15

СОВМЕЩЕНИЕ СПУТНИКОВЫХ ИЗОБРАЖЕНИЙ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ ГЕНЕТИЧЕСКОГО АЛГОРИТМА

А.М. Парчевская

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

Аннотация. В работе рассматривается совмещение спутниковых изображений и применение генетического алгоритма к данной задаче, рассматриваются основные процедуры генетического алгоритма и их виды.

Ключевые слова: совмещение изображений, генетический алгоритм, спутниковые снимки.

COMBINATION OF SATELLITE IMAGES USING GENETIC ALGORITHM

A.M. Parchevskaya

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

The summary. The paper considers the combination of satellite images and the application of a genetic algorithm to this problem. the main procedures of the genetic algorithm and their types are considered.

Keywords: image alignment, genetic algorithm. satellite images.

Совмещение спутниковых или аэрофотоснимков имеет множество применений, особенно в области фотограмметрии и задач дистанционного зондирования Земли [1].

Один из основных способов обнаружения объектов на изображении состоит в сопоставлении текущего изображения с эталоном. Текущее изображение последовательно перемещается по полю эталонного изображения и исследуется его сходство с различными участками изображения. Если сходство достаточно велико, то этот участок помечается как соответствующий текущему изображению.

Полное совпадение текущего изображения с какой-либо частью эталонного изображения происходит нечасто из-за действия шумов и искажений. Поэтому используется функция сходства, т. е. мера, с помощью которой принимается решение о степени сходства изображений. Алгоритмы, используемые для совмещения изображений, обычно включают операции вычисления функции сходства изображений и операции поиска экстремума этой функции.

Существует большое количество алгоритмов, которые могут использоваться для совмещения изображений. Одним из методов совмещения изображений является применение генетического алгоритма.

Генетические алгоритмы (ГА) — это алгоритмы адаптивного эвристического поиска, которые относятся к эволюционным вычислениям. Работа генетических алгоритмов основана на имитации процесса естественного отбора. Это означает, что те виды, которые смогут адаптироваться к изменениям в окружающей среде, получают возможность жить, размножаться и создавать следующее поколение. Проще говоря, они симулируют «выживание наиболее приспособленных» особей [2].

В ГА каждое решение кодируется в виде хромосомы или особи, которая представляет собой вектор параметров. Параметры решений кодируются в виде генов хромосомы. На каждом этапе обработки к имеющемуся набору хромосом применяются основные генетические операторы. В результате работы алгоритма популяция изменяет свой вид и приобретает новые свойства. Оценка вновь полученных решений производится при помощи функции приспособленности, которая зависит от поставленной задачи и соответствующей этой задаче целевой функции. Особи с наименьшим значением функции приспособленности удаляются из популяции и в дальнейшем не участвуют в поиске решений [3].

Генетический алгоритм состоит в наборе определённых процедур [4].

1. Процедура начальной инициализации. Сообразно заданному размеру популяции создаётся определённое количество исходных членов популяции, с которых начнётся выполнение всего алгоритма. Для задачи совмещения изображений членами популяции будут являться случайные точки на изображении. Для каждой из этих точек подсчитывается значение целевой функции, определённой через яркости пикселей изображения.

2. Процедура селекции. На данном этапе выбирается определённое подмножество членов популяции, обладающих наилучшим значением целевой функции. После прохождения селекции в популяции остаются только наиболее оптимальные члены популяции.

Существует много различных видов селекции. Рассмотрим наиболее распространенные.

Селекция на основе рулетки. Рассмотрим круглое колесо. Колесо разделено на n секторов, где n - количество особей в популяции. Каждая особь получает часть круга, пропорциональную его значению приспособленности. На окружности колеса выбирается фиксированная точка и колесо вращается. Область колеса, на которую попадает фиксированная точка, выбирается в качестве родителя. Для второго родителя процесс повторяется. У более приспособленной особи сектор на колесе больше, следовательно, больше шансов быть выбранной при вращении колеса.

Селекция на основе заданной шкалы. Каждая особь в популяции оценивается на основе заданного критерия. Далее популяция сортируется от лучшей особи к худшей. Выбор ро-

дителей зависит от ранга каждой особи. Особи с более высоким рейтингом предпочтительнее, чем особи с более низким рейтингом.

Турнирная селекция. В этом виде селекции случайным образом выбирается некоторое число особей из популяции. Лучшие особи в этой группе выбираются в качестве родителей.

3. Процедура скрещивания (кроссинговер). Оставшиеся «в живых» члены популяции попарно скрещиваются между собой, порождая новых членов популяций, для получения более оптимальных значений целевой функции. Для задачи совмещения изображений этап скрещивания будет состоять в обмене битов координат изображения. На выходе из этой процедуры мы должны снова получить популяцию с размером, заданным в самом начале.

Самый простой вариант кроссинговера - одноточечный кроссинговер. Первым шагом работы этого оператора выбирается точка разреза. Далее происходит разрезание хромосом каждого родителя в этой точке и из полученных частей образуются два потомка.

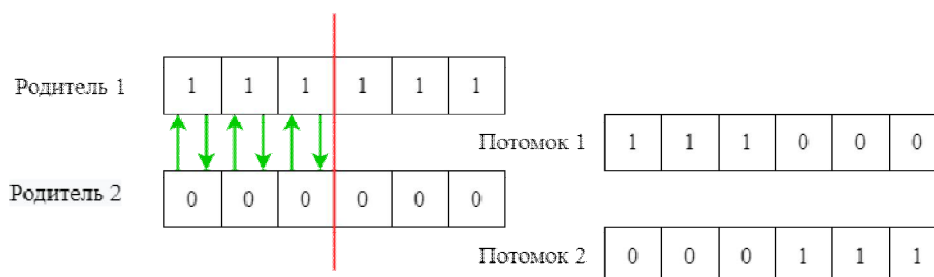


Рис. 1. Оператор одноточечного кроссинговера

Двухточечный кроссинговер аналогичен одноточечному кроссинговеру. Однако здесь вместо одной разрезающей точки случайным образом выбираются две разрезающие точки и из них генерируются два потомка.

4. Процедура мутации. Для того, чтобы не заиклиться в одинаковых значениях, как для координат, так и для целевой функции используется этап мутации, который для нашей задачи заключается в изменении битов координат, порождённых скрещиванием членов популяции с определённой невысокой вероятностью, чтобы мутация не вносила сильные коррективы и не искажала хорошие решения.

Существует несколько разновидностей мутации.

Точечная мутация. В этой мутации выбирается один или несколько случайных битов и меняется значение бита на противоположное.

Инверсия. Потомок формируется за счет реализации противоположной последовательности значения хромосомы.

Перестановка. Реализуется путем обмена генов местами.

По завершению всех этих процедур процесс повторяется снова и снова, пока не будет достигнут один из двух результатов:

1. Достигнуто заданное в самом начале число поколений для используемого алгоритма. Если был достигнут данный исход, то результирующим значением всего алгоритма будет принят член популяции с наилучшим показателем целевой функции.

2. Для одного из членов популяции значение целевой функции превысило заданный порог. Нормированная целевая функция может принимать значения от 0 до 1. Показатель наилучшего совпадения при реализации алгоритма корреляционного совмещения изображений принято считать от 0,95 и выше. Если целевая функция после процедуры мутации для какого-либо члена популяции превысила данный порог, то именно его координаты будут использоваться как результат работы алгоритма.

Подсчёт целевой функции для задачи совмещения изображений будет производиться следующим образом [5]:

$$F(x, y) = \frac{\sum_{i=0}^{N-1} \sum_{j=0}^{M-1} f_{ЭИ}(i, j) \cdot f_{ТИ}(i+x, j+y)}{\sqrt{\left[\sum_{i=0}^{N-1} \sum_{j=0}^{M-1} f_{ЭИ}^2(i, j) \right] \times \left[\sum_{i=0}^{N-1} \sum_{j=0}^{M-1} f_{ТИ}^2(i+x, j+y) \right]}} \quad (1)$$

где $K \times L$ – размер текущего изображения,

$N \times M$ – размер эталонного изображения,

x, y – смещение фрагмента $f_{ЭИ}$ относительно $f_{ТИ}$

В качестве значения функции $f(x, y)$ берётся значение яркости пикселя на соответствующем изображении по координатам x и y [6].

Графически все эти процедуры можно представить следующим образом (рисунок 2).

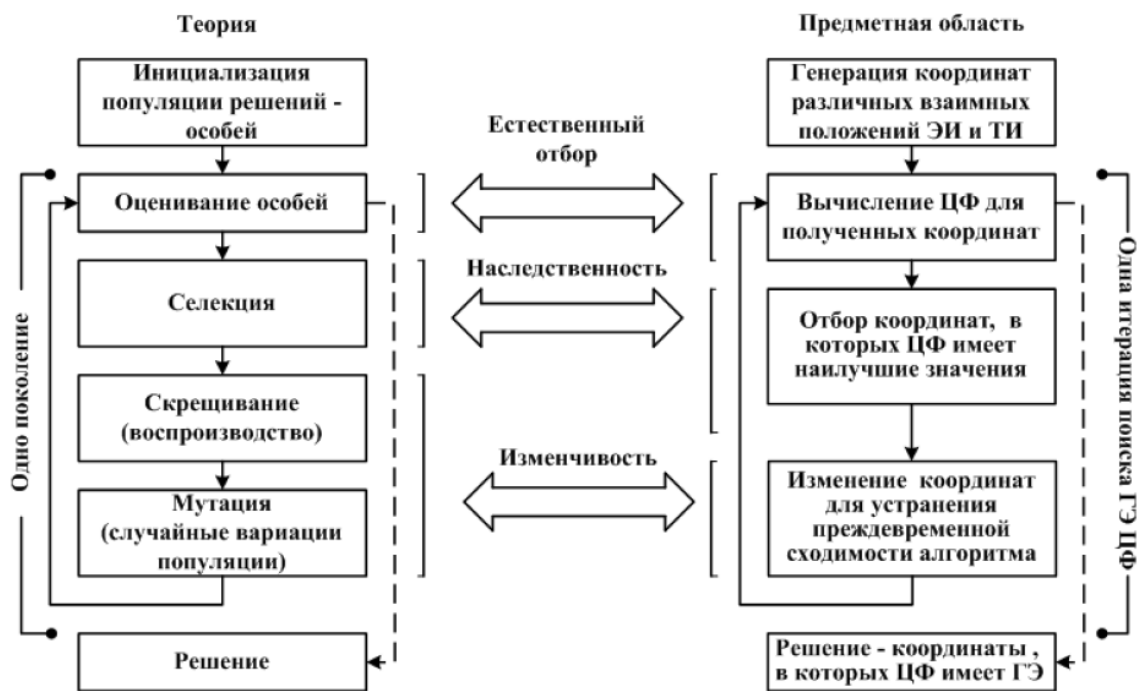


Рис. 2. Схема генетического алгоритма

Библиографический список

1. Злобин, В. К. Корреляционно-экстремальные методы совмещения аэрокосмических изображений / В. К. Злобин, А. Н. Колесенков, Б. В. Костров. – Текст: непосредственный // Вестник Рязанского государственного радиотехнического университета. – 2011. – № 37. – С. 12–17.
2. Рутковская, Д. Нейронные сети, генетические алгоритмы и нечеткие системы / Д. Рутковская, М. Пилиньский, Л. Рутковский; переводчик с польского И. Д. Рудинского. – Москва: Горячая линия-Телеком, 2006. – 452 с.: ил., табл. – ISBN 5-93517-103-1. – Текст: непосредственный.
3. Белоусов А. А. Алгоритмы и программные средства эволюционной обработки изображений: дис. – 2010.
4. Емельянов, В. В. Теория и практика эволюционного моделирования / В. В. Емельянов, В. М. Курейчик, В. В. Курейчик. – Москва: ФИЗМАТЛИТ, 2003. – 431 с.: ил., табл. – (Проблемы искусственного интеллекта). – ISBN 5-9221-0337-7. – Текст: непосредственный.
5. Костров, Б. В. Применение генетического алгоритма поиска взаимно корреляционной функции изображений / Б. В. Костров, А. Н. Колесенков, О. И. Поспехова. – Текст: непосредственный // Методы и средства обработки и хранения информации: межвузовский сборник научных трудов. – Рязань: Рязанский государственный радиотехнический университет, 2011. – С. 148–153.
6. Математическое и алгоритмическое обеспечение методов глобальной оптимизации при совмещении изображений: учеб. пособие / С.И. Елесина, А.А. Логинов, М.Б. Никифоров; Рязан. гос. радиотехн. ун-т. Рязань, 2014. 80 с.

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

УДК62-837; ГРНТИ 55.01.85

ИССЛЕДОВАНИЕ СИСТЕМЫ АСИНХРОННЫЙ ДВИГАТЕЛЬ-ГЕНЕРАТОР ПОСТОЯННОГО ТОКА НА ОДНОМ ВАЛУ

И.Н. Романов, М.В. Ленков

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

Аннотация. В работе исследована математическая модель нагрузочного устройства, позволяющая моделировать статические и динамические нагрузки на валу испытуемого электропривода.

Ключевые слова: асинхронный двигатель, генератор постоянного тока, механическая характеристика, нагрузочная машина, Simulink-модель.

INVESTIGATION OF THE SYSTEM ASYNCHRONOUS MOTOR-GENERATOR OF DC ON A SINGLE SHAFT

I.N.Romanov, M.V. Lenkov

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

The summary. The paper investigates the mathematical model of the load device, which allows modeling static and dynamic loads on the shaft of the electric drive under test.

Keywords: asynchronous motor, DC generator, mechanical characteristic, load machine, Simulink model.

Динамические испытания позволяют выявить скрытые проблемы и предотвратить ненужные отказы электрических машин. Оборудование для динамических испытаний должно быть способно собирать и отслеживать все данные, необходимые для электродвигателей [1]. Одной из важных характеристик электрического двигателя является его механическая характеристика. Правильное применение, защита двигателя, регулирование скорости и эффективность машины могут зависеть от правильного определения этой характеристики.

Механическая характеристика электродвигателей экспериментально определяется с помощью систем нагружения, которые способны контролировать величину нагрузки в процессе работы двигателя. Для асинхронных двигателей (АД) малой и средней мощности регулируемую нагрузку можно создать с помощью генератора постоянного тока (ГПТ) механически соединенного с валом АД.

Кроме того, исследование системы АД-ГПТ на одном валу имеет самостоятельный интерес. В станках с приводом постоянного тока для бесступенчатого регулирования скорости часто используют ГПТ. В этих случаях применяют более сложные системы электропривода (рис. 1), включающие подсистему АД-ГПТ.

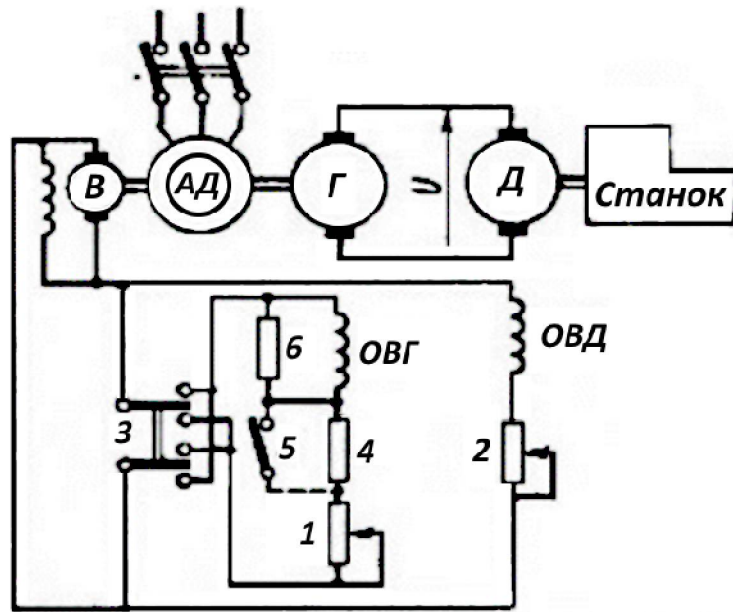


Рис. 1. Система генератор - двигатель постоянного тока

В данной работе исследована модель стенда, в котором в качестве нагрузочного устройства для АД используется ГПТ независимого возбуждения.

Создана математическая модель нагрузочного устройства, позволяющая моделировать статические и динамические нагрузки на валу испытуемого электропривода.

Система АД-ГПТ на одном валу

Нагрузку на валу асинхронного электродвигателя обеспечивает нагрузочная машина, представляющая собой машину постоянного тока (МПТ), в цепь якоря которой вводится регулируемое активное сопротивление.

Нагрузочная машина является источником момента. Регулировать момент можно двумя способами [2]:

- 1) при номинальном значении якорного тока изменять величину магнитного потока;
- 2) при номинальном магнитном потоке изменять величину якорного тока.

В первом случае значительно снижается диапазон скоростей, в котором можно сформировать моменты заданной величины. Во втором случае диапазон скоростей, при котором такие характеристики формируются, значительно больше.

При механическом соединении валов испытуемого АД и нагрузочного ГПТ в стационарном режиме устанавливается баланс между механической мощностью АД и мощностью, развиваемой ГПТ. Так как крутящий момент ГПТ пропорционален току якоря, то его можно регулировать добавочным сопротивлением в цепи якоря. Зная величину момента генератора, можно определить величину момента двигателя.

Мощность нагрузочного ГПТ должна несколько превышать мощность исследуемого АД. Проведенные эксперименты показали, что при увеличении мощности нагрузочного генератора увеличивается диапазон скорости вращения системы АД-ГПТ.

Входной величиной для нагрузочного устройства является скорость вращения, а выходной крутящий момент сопротивления.

Входной величиной АД будет момент сопротивления, а выходной – скорость вращения.

При построения имитационной модели стенда математические модели электрических машин, входящие в состав устройства, представляют в виде блоков и объединяют в одну схему.

Имитационная модель стенда разработана с помощью Simulink/Simscare-блоков программного пакета MATLAB[3].

АД с короткозамкнутым ротором

Блок *AsynchronousMachineSquirrelCage* (рис. 1) моделирует асинхронную машину с короткозамкнутым ротором. В блоке доступны соединения статора в конфигурациях «звезда» и «треугольник».

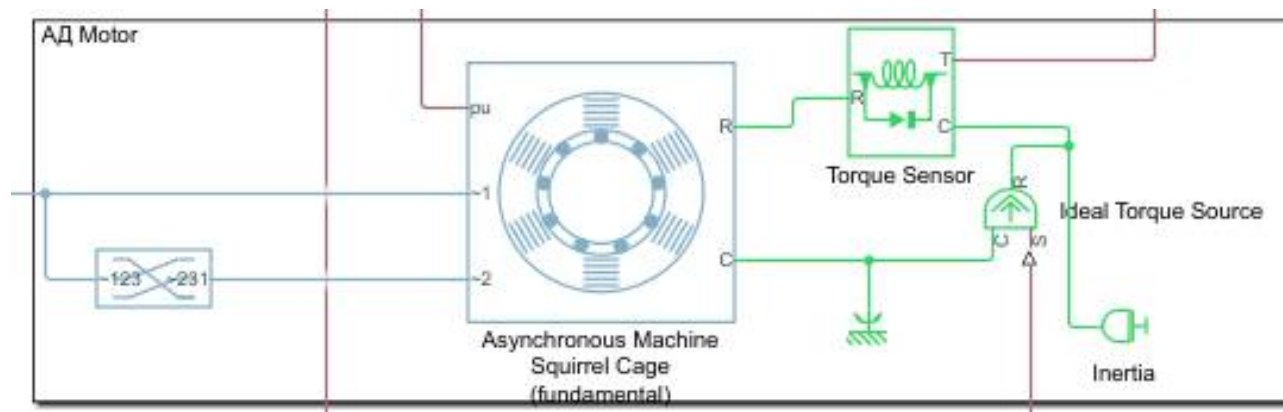


Рис. 1. InductionMachineSquirrelCage

Чтобы соединить статор в конфигурации «треугольник между портами ~1 и ~2 присоединяют блок *PhasePermute*. Чтобы подключить статор в конфигурации «звезда» к порту ~2 подключают заземленную нейтраль (*GroundedNeutral/Three-Phase*) или плавающую нейтраль (*FloatingNeutral/Three-Phase*).

Сопротивления и индуктивности в блоке *AsynchronousMachineSquirrel* указывают, исходя из того, что машина подключена в конфигурации «треугольник».

Для реализации асинхронной машины блок использует двухфазную модель.

Уравнения асинхронной машины выражаются относительно синхронной системы отсчета (d, q)

$$\theta_e(t) = \int_0^t 2\pi f_0 dt,$$

где θ_e – электрический угол, f_0 – номинальная электрическая частота.

Преобразование Парка переменных в систему отсчета (d, q)

$$\begin{bmatrix} U_{ds} \\ U_{qs} \\ U_{0s} \end{bmatrix} = P_s \begin{bmatrix} U_a \\ U_b \\ U_c \end{bmatrix}, \quad P_s = \frac{2}{3} \begin{bmatrix} \cos\theta_e & \cos(\theta_e - \frac{2\pi}{3}) & \cos(\theta_e + \frac{2\pi}{3}) \\ -\sin\theta_e & -\sin(\theta_e - \frac{2\pi}{3}) & -\sin(\theta_e + \frac{2\pi}{3}) \\ \frac{1}{2} & \frac{1}{2} & \frac{1}{2} \end{bmatrix},$$

где U_a, U_b и U_c - напряжения статора на портах ~1 и ~2, U_{sd}, U_{sq} , и U_{0s} - напряжения по осям d, q и нулевой последовательности статора.

Уравнения для напряжений в системе отсчета (d, q) имеют вид

$$\begin{cases} U_{sd} = i_{sd}R_s + \frac{d\Psi_{sd}}{dt} - \omega_0\Psi_{sq}; \\ U_{sq} = i_{sq}R_s + \frac{d\Psi_{sq}}{dt} + \omega_0\Psi_{sd}; \\ U_{rd} = i_{rd}R_r + \frac{d\Psi_{rd}}{dt} - (\omega_0 - \omega_r)\Psi_{rq}; \\ U_{rq} = i_{rq}R_r + \frac{d\Psi_{rq}}{dt} + (\omega_0 - \omega_r)\Psi_{rd}, \end{cases}$$

где U_{rd}, U_{rq} - напряжения ротора по осям d и q ; $\Psi_{rd}, \Psi_{rq}, \Psi_{sd}, \Psi_{sq}$ - потокосцепления ротора и статора по осям d и q ; $i_{rd}, i_{rq}, i_{sd}, i_{sq}$ - токи ротора и статора по осям d и q ; R_r, R_s - сопротивления ротора и статора; ω_0 - синхронная электрическая скорость; ω_r - электрическая скорость ротора.

Крутящий момент ротора определяется выражением

$$M = \Psi_{sd} \cdot i_{sq} - \Psi_{sq} \cdot i_{sd}.$$

Нагрузка блока, моделирующего работу АД (механический порт R), осуществляется через блок *Ideal Torque Source* крутящим моментом генератора *DC Motor* и суммарным моментом инерции (блок *Inertia*). Для измерения суммарной нагрузки, поступающей на порт R , используется блок *Torque Sensor*.

Модель двигателя постоянного тока

Блок *DC Motor* представляет электрические характеристики и характеристики крутящего момента двигателя постоянного тока с помощью следующей эквивалентной схемы (рис. 2)

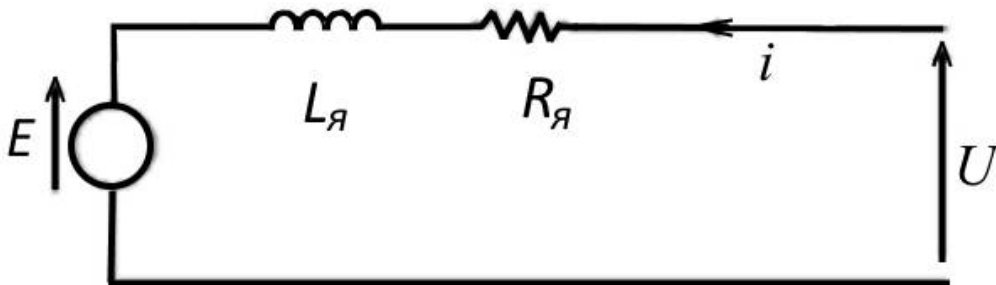


Рис. 2. Эквивалентная схема машины постоянного тока в блоке DCMotor

Резистор R_α соответствует сопротивлению, указанному в параметре [*Сопротивление якоря*]. Катушка индуктивности L_α соответствует индуктивности в параметре [*Индуктивности якоря*]. Способ генерирования магнитного поля двигателя постоянного тока, устанавливается в параметре [*Тип поля*].

В якоре двигателя индуцируется против-ЭДС

$$E = k_\varepsilon \cdot \omega.$$

Двигатель создает крутящий момент, который пропорционален току якоря i

$$M = k_t \cdot i.$$

Блок *DC Motor* предполагает, что электромагнитные потери отсутствуют. Это означает, что механическая мощность равна электрической мощности, рассеиваемой в якоре

$$M \cdot \omega = E \cdot i; \quad k_t \cdot i \cdot \omega = k_\varepsilon \cdot \omega \cdot i; \quad k_t = k_\varepsilon. \quad (1)$$

Либо k_ε , либо k_t задается в параметрах блока.

Если магнитное поле создается током возбуждения I_f , то постоянная противо-ЭДС k_ε

$$k_\varepsilon = L_{af} \cdot I_f,$$

где L_{af} - взаимная индуктивность обмотки возбуждения и якоря.

В нагрузочном режиме машина постоянного тока *DC Motor* работает как генератор. Нагрузка на блок *DC Motor* передается через механический порт *R* (рис. 3), связанный с ротором машины постоянного тока. С АД через блок *Ideal Angular Velocity Source* порт *R* передается угловая скорость ω вращения вала.

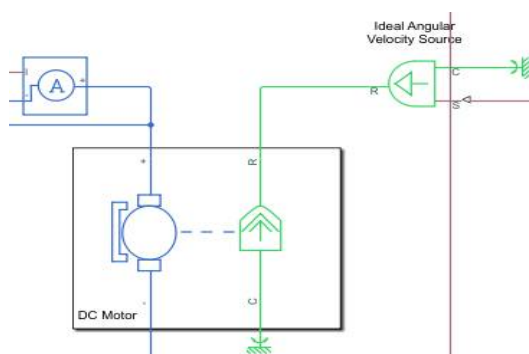


Рис. 3. DCMotor

Имитационная модель АД-ГПТ

Полученную Simulink-модель (рис. 4) можно использовать для испытаний системы АД-ГПТ для различных типов АД и ГПТ.

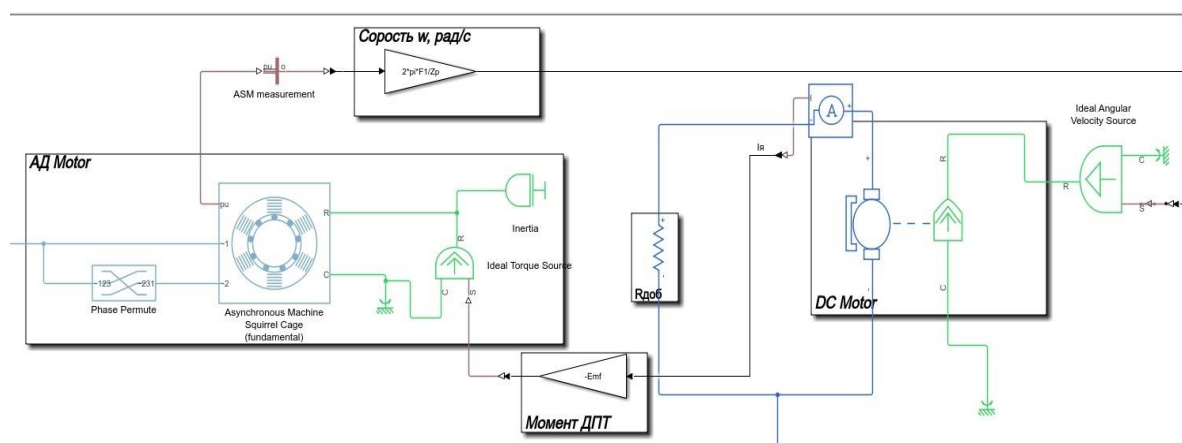


Рис. 4. Simulink-модель системы АД-ГПТ

Для иллюстрации использования модели рассмотрим снятие механической характеристики АД типа АИС56В4 мощностью 90 Вт (номинальная частота вращения 1360 об/мин). Как нагрузку в испытаниях будем использовать машину постоянного тока (МПТ) ПЛ-062 мощностью 90 Вт (номинальная частота вращения 1500 об/мин) и МПТ2ПН90М мощностью 370 Вт (номинальная частота вращения 1500 об/мин).

Необходимые для моделирования АД (блок *AsynchronousMachineSquirrelCage*) величины активных сопротивлений и индуктивностей фазных обмоток статора и ротора вычислены по паспортным данным АД [4, 5].

При моделировании МПТ (блок *DC Motor*) для сопротивления ($R_{я}$) и индуктивности ($L_{я}$) обмоток якоря использовались значения, указанные в паспортных данных.

Постоянную противо-ЭДС якоря k_{ε} , учитывая (1), можно определить из соотношения

$$\frac{P}{k_{\varepsilon} \cdot \omega_{н}} = \frac{U_{н} - k_{\varepsilon} \cdot \omega_{н}}{R_{я}},$$

где P – мощность, $\omega_{н}$ – номинальная частота вращения, рад/с, $U_{н}$ – номинальное напряжения питания обмотки якоря МПТ.

Вычисленные значения постоянной противо-ЭДС сравнивались с экспериментальными данными.

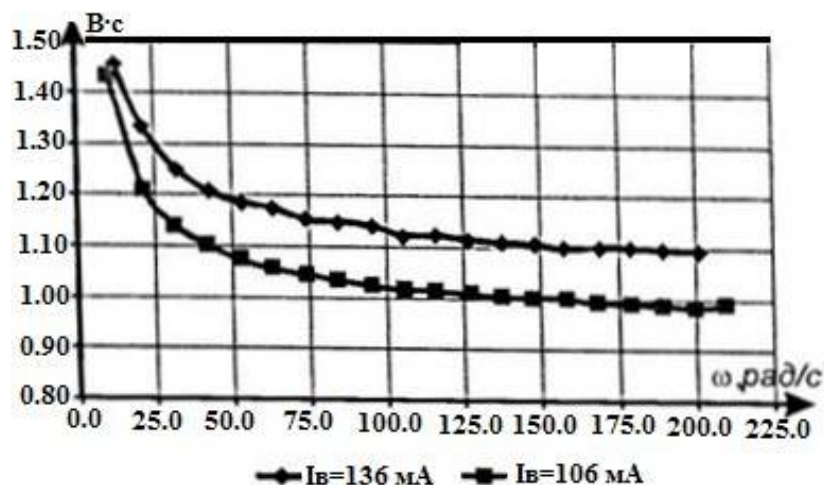


Рис. 5. Зависимость постоянной противо-ЭДС $k_{\varepsilon} = k_{\varepsilon}(\omega)$

На рисунке 5 представлены экспериментальные данные постоянной противо-ЭДС МПТ типа ПЛ-062 в зависимости от частоты вращения ω при разных значениях тока возбуждения. Вычисленное значение $k_{\varepsilon} \approx 1.17$ В·с.

Для регулирования крутящего момента нагрузочной МПТ в цепь якоря вводится добавочное регулируемое активное сопротивление $R_{д}$ ($0 \leq R_{д} \leq \infty$). При $R_{д} = 0$ нагрузочная МПТ обеспечивает максимальный крутящий момент и минимальную скорость вращения ω системы АД-ГПТ.

На рисунке 6 показаны статические механические характеристики АД типа АИС56В4, снятые в установившихся режимах системы АД-ГПТ. Кривая 1 соответствует теоретической зависимости, кривая 2 соответствует ГПТ типа ПЛ-062, кривая 3 – ГПТ 2ПН90М.

Полученные графики соответствуют теории (кривая 1 на рис. 6). Таким образом, полученную Simulink-модель можно использовать для испытаний системы АД-ГПТ различных мощностей. Соизмеримое увеличение мощности ГПТ обеспечивает регулирование скорости вращения ω в более широком диапазоне (кривая 3 на рис. 6).

Данная модель позволяет получить различные графические зависимости и контролировать токи, напряжения, моменты, скорости как в установившихся режимах, так и в переходных процессах.

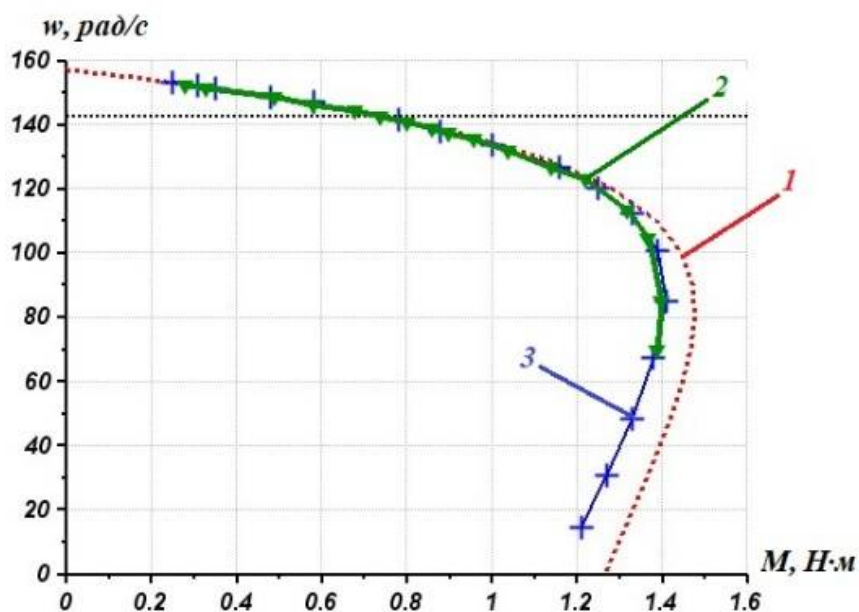


Рис. 6. Механические характеристики АД АИС56В4

На рисунках 7, 8 представлен переходный процесс выхода системы АД(АИС56В4) – ГПТ(ПЛ-062) на установившуюся скорость вращения $n = 1300$ об/мин.

Кривая 1 на рисунке 7 соответствует крутящему моменту ГПТ, а кривая 2 электромагнитному моменту, развиваемому АД. Время переходного процесса $t_n \approx 1,5$ с соответствует набору скорости системы АД-ГПТ от 0 до 1300 об/мин при постоянном номинальном значении напряжения на АД. Нагрузка со стороны ГПТ регулировалась величиной добавочного сопротивления в цепи якоря R_d .

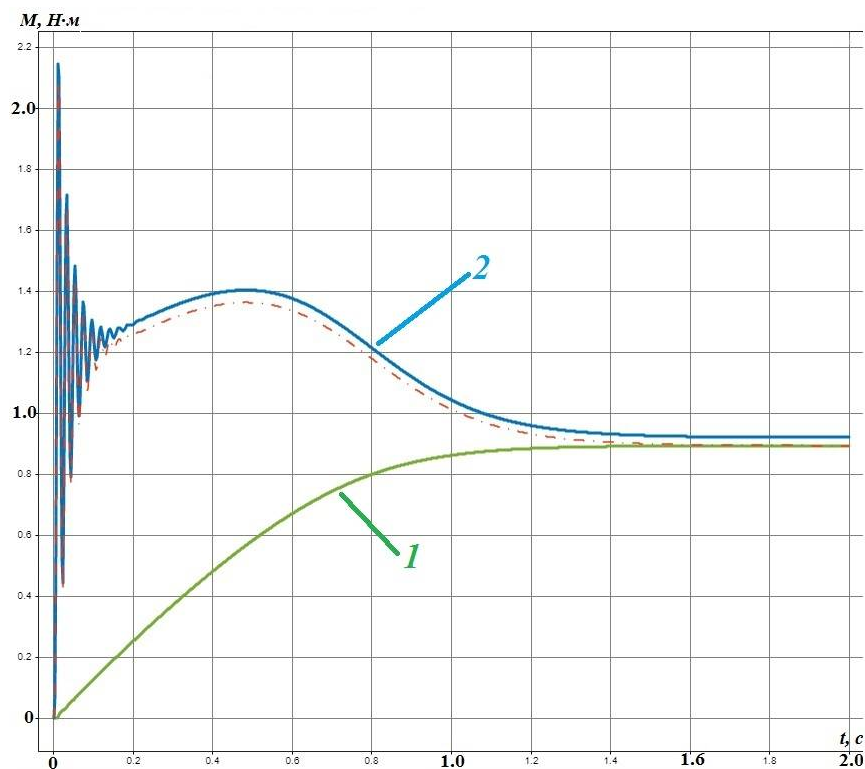


Рис. 7. Крутящие моменты нагрузочной машины (1) и АД (2)

На рисунке 8 показаны графики токов якоря ГПТ и статора АД в указанном переходном процессе. Кривая 1 соответствует току якоря, а кривая 2 действующему (среднеквадратичному) значению фазного тока статора.

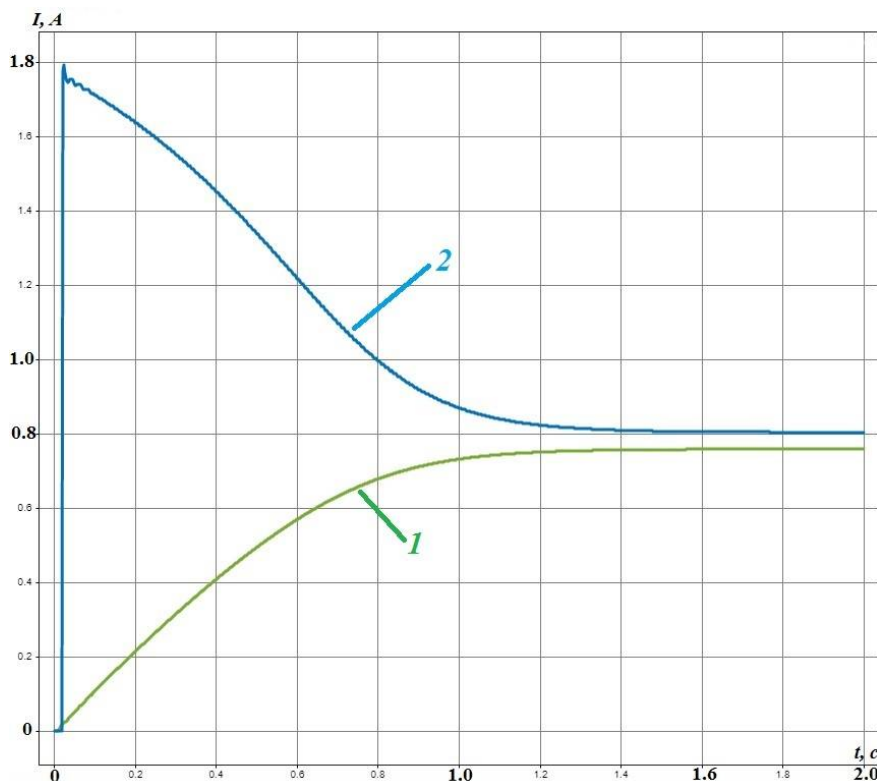


Рис. 8. Токи якоря ГПТ (1) и статора АД (2)

Библиографический список

1. Гольдберг О.Д. Испытания электрических машин. Учеб. для вузов, 2-е ред. – М: Высшая школа, 2000. – 255 с.
2. Никулин Ю. В., Ермолаев М., Куралина Н. Проектирование и расчет различных схем управления высокомоментным двигателем постоянного тока // Машиностроение и компьютерные технологии. 2011. №. 12. С. 67-76.
3. Черных И.В. SIMULINK: среда создания инженерных приложений. Учебно-справочное пособие. Под общ. ред. к.т.н. В.Г. Потемкина. – М.: ДИАЛОГ-МИФИ, 2003. – 496 с.
4. Осипов, В.С. Аналитический метод расчета параметров схемы замещения трехфазных асинхронных двигателей серии АИР / В.С. Осипов // Вестник Самарского государственного технического университета. Серия: Технические науки. - 2017. - № 2 (54). – С.108-120.
5. Романов И.Н., Ленков М.В., Зиненко А.Г. Моделирование трехфазного асинхронного двигателя с короткозамкнутым ротором по каталожным данным в пакете SCILAB/XCOS // Новые информационные технологии в научных исследованиях НИТ-2021. материалы XXVI Всероссийской научно-технической конференции студентов, молодых ученых и специалистов. Рязань, 2021. С. 245-247.

УДК 62-5; ГРНТИ 55.20.15

МОДЕЛИРОВАНИЕ ТЕРМОМЕХАНИЧЕСКИХ ПРОЦЕССОВ НА ЭЛЕКТРОДАХ ПРИ ЭЛЕКТРОЭРОЗИОННОЙ ОБРАБОТКЕ

Р. Н. Дятлов, Е. К. Буханова

*Рязанский государственный радиотехнический университет им. В. Ф. Уткина,
Российская Федерация, Рязань, kaitp@list.ru*

Аннотация. В работе рассматривается математическая модель физических процессов на поверхности электродов при электроэрозионной обработке. Разработана компьютерная модель для поля термических напряжений. Приведены распределения полей радиального и окружного термоупругих напряжений в объёме обрабатываемого материала при воздействии на него концентрированного потока энергии. Показано влияние параметров обработки на распределение фронта термоупругих напряжений.

Ключевые слова: электроэрозионная обработка, моделирование, обработка материалов, теория упругости.

SIMULATION OF THERMOMECHANICAL PROCESSES ON ELECTRODES DURING ELECTRICAL DISCHARGE MACHINING

R. N. Dyatlov, E. K. Bukhanova

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

The summary. The paper considers a mathematical model of physical processes on the surface of electrodes during electrical discharge machining. A computer model for the thermal stress field has been developed. The distributions of the fields of radial and circumferential thermoelastic stresses in the volume of the processed material under the influence of a concentrated energy flow are given. The influence of processing parameters on the distribution of the thermoelastic stress front is shown.

Keywords: electrical discharge machining, computer simulation, material machining, theory of elasticity.

Следствием воздействия импульсного разряда на поверхность электрода является возникновение нестационарного и резко не однородного по координате температурного поля. Этот эффект приводит в части слоёв электрода, примыкающих к возникшему под действием разряда источнику тепла к частичному испарению и плавлению малой порции металла в пределах зоны, где $t = t_n$ – время импульса разряда. За пределами этой зоны металл остаётся в твёрдой фазе и в силу резкой неравномерности (по координатам) температурного поля испытывает значительные напряжения, связанные с неравномерным нагревом материала электродов. Как показывают оценки [1] при имеющих место в этом случае градиентах и температур значения термических напряжений могут превосходить предел текучести и прочности материала. Таким образом к границе единичной лунки примыкает область, в которой возможны разрывы плотности (трещины) и пластическая деформация; в тех зонах, где напряжения меньше предела текучести, будет наблюдаться упругая деформация.

Для описания наблюдающегося явления с учётом пластических деформаций необходимо использовать нелинейную систему уравнений, что в ряде случаев не целесообразно из-за сложности решения.

Интерес представляет оценка глубины слоя, в котором возможно возникновение термических напряжений и, используя линейные приближения, получить определённые важные для практики результаты.

В связи с этим для получения расчётных формул используется задача о термоупругих радиальном σ_{rr} и окружном $\sigma_{\varphi\varphi}$ напряжениях, возникающих под действием точечного источника тепла, действующего на адиабатической границе полупространства.

Из [2] известно, что это решение может быть получено методом термоупругого потенциала перемещений и имеет для сферической симметрии следующий вид:

$$\bar{\sigma}_{rr} = -\left(\frac{1+\mu}{1-\mu}\right)\alpha \frac{GQ}{2\pi\lambda R} \left[1 - \left(1 - \frac{2}{\tau_0^2}\right) \cdot \operatorname{erf}\left(\frac{\tau_0}{2}\right) - \frac{1}{\sqrt{\pi}}(\tau_0^2 + \tau_0 + 2)e^{-\frac{\tau_0^2}{4}} \right], \quad (1)$$

$$\bar{\sigma}_{\varphi\varphi} = -\left(\frac{1+\mu}{1-\mu}\right)\alpha \frac{GQ}{4\pi\lambda R} \left[1 - \left(1 - \frac{2}{\tau_0^2}\right) \cdot \operatorname{erf}\left(\frac{\tau_0}{2}\right) - \frac{1}{\sqrt{\pi}}(\tau_0^2 + \tau_0 + 2)(\tau_0^2 - 2)e^{-\frac{\tau_0^2}{4}} \right], \text{ Ошибка! Закладка}$$

где μ – коэффициент Пуассона;

α – коэффициент линейного расширения;

G – модуль сдвига;

Q – мощность источника;

λ – коэффициент теплопроводности;

$\tau_0 = R/\sqrt{at}$ – безразмерная величина;

R – радиус вектор точки, в которой определяется напряжение;

a – коэффициент температуропроводности.

Уравнения (1) и (2) описывают поле термических напряжений для источника мощности Q , действующего в течение времени t .

Если рассматривать источник тепла, действующий в течение времени $t_{\text{и}}$ – длительность импульса, то для моментов времени $0 < t < t_{\text{и}}$ расчёт можно осуществлять с помощью уравнений (1) и (2). В тех случаях, когда рассматриваются моменты времени $t > t_{\text{и}}$ решение этой задачи будет иметь вид:

$$\begin{cases} \sigma_{rr} = \bar{\sigma}_{rr}(t) - \bar{\sigma}_{rr}(t - t_{\text{и}}), \\ \sigma_{\varphi\varphi} = \bar{\sigma}_{\varphi\varphi}(t) - \bar{\sigma}_{\varphi\varphi}(t - t_{\text{и}}). \end{cases} \quad (2)$$

Таким образом при составлении алгоритма расчёта учитываются как уравнения (1), (2), так и система уравнений (3). Из уравнений (1) и (2) можно установить, что переменными величинами здесь являются текущее время t и радиус вектор R . Для осуществления расчёта должны быть выбраны разумные пределы изменения начальных и конечных значений t и R , а также шаг их изменения.

Для широкого диапазона режимов длительность импульса разряда находится в пределах $10^{-6} \dots 10^{-3}$ с, поэтому для величины $t_{\text{и}}$ запишем $10^{-6} \leq t_{\text{и}} \leq 10^{-3}$ с. В связи с тем, что в большинстве случаев термические напряжения существуют в течение $t > t_{\text{и}}$, в качестве начальной точки отсчёта целесообразно принять $t_{\text{нач}} \geq t_{\text{и}}$. Время существования термических напряжений определяется временем существования температурного поля, которое можно оценить временем $t_{\text{кон}} \approx 10t_{\text{и}}$, следовательно, момент времени, соответствующий окончанию расчёта, находится в интервале $10^{-5} < t_{\text{кон}} \leq 10^{-2}$ с.

Поскольку интерес представляет поле напряжений, возникающее вне подвергавшейся расплавлению части поверхностных слоёв электрода, то начальная величина радиуса вектора $R_{\text{нач}} \geq h_{\text{л}}$, $h_{\text{л}} \approx R_z$, где $h_{\text{л}}$ – глубина лунки, а конечная $R_{\text{кон}} \approx 10R_{\text{нач}}$. Так, например, для случая, когда $R_z = 5$ мкм, $h_{\text{л}} = 3R_z = 15$ мкм, $R_{\text{нач}} = 15$ мкм, $R_{\text{кон}} = 150$ мкм шаг расчёта по времени целесообразно с точки зрения упрощения вычислений выбрать кратным $t_{\text{и}}$. Обозначим шаг расчёта через h_t и определим его в виде $h_t = t_{\text{и}}/k_t$. Из практических соображений нет смысла брать $h_t \leq 0.1t_{\text{и}}$, поэтому $k_t \leq 10$. Шаг расчёта по координате целесообразно определить в виде $h_R = (R_{\text{нач}} - R_{\text{кон}})/k_R$, где разумные пределы изменения величины k_R имеют вид $1 \leq k_R \leq 15$.

Предлагаемую в [3] математическую модель возможно реализовать в современных пакетах прикладных программ для решения задач технических вычислений (например, *Mathcad*, *Mathematica*, *MATLAB*).

На рисунке 1 показаны радиальные σ_{rr} термоупругие напряжения, возникающих под действием точечного источника тепла, действующего на адиабатической границе полупространства при $t = \text{const}$ (рис. 1, а) и при $R = \text{const}$ (рис. 1, б). В поверхностных слоях возникают напряжения деформации сжатия – со знаком «минус». Это является типичным сочетанием температурного и силового циклов. Деформация растяжения в поверхностных слоях показана со знаком «плюс».

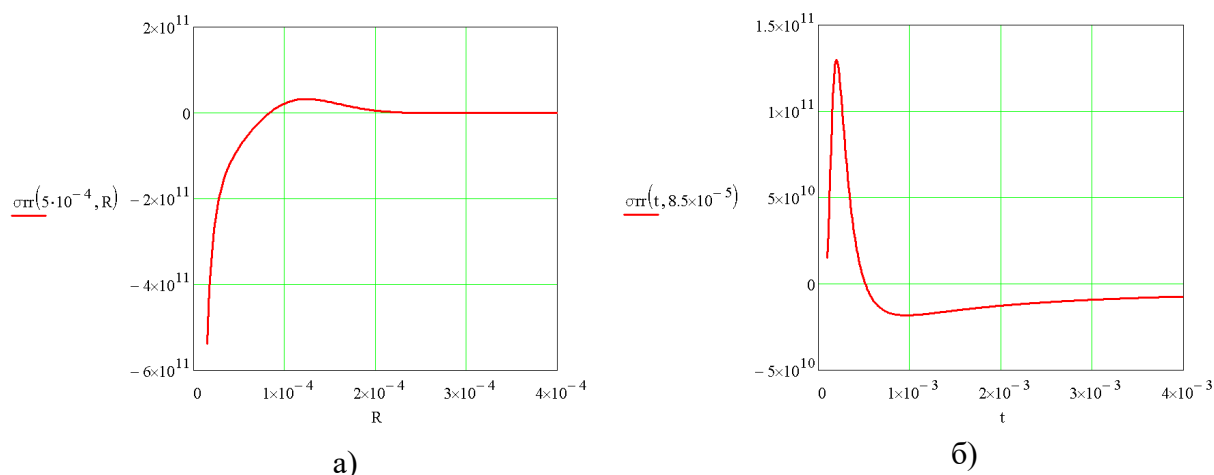


Рис. 1. Радиальные σ_{rr} термоупругие напряжения, возникающие под действием точечного источника тепла

Аналогичные зависимости наблюдаются для окружных $\sigma_{\varphi\varphi}$ напряжений (рис. 2). Вблизи малых радиусов (рис. 2, а) и времён (рис. 2, б) имеются значительные напряжения деформации сжатия и растяжения, превышающие временное сопротивление разрыву (предел прочности при растяжении) для стали 45 (сотни МПа). По мере увеличения значений t и R напряжения значительно уменьшаются и стремятся к постоянному значению (единицы МПа).

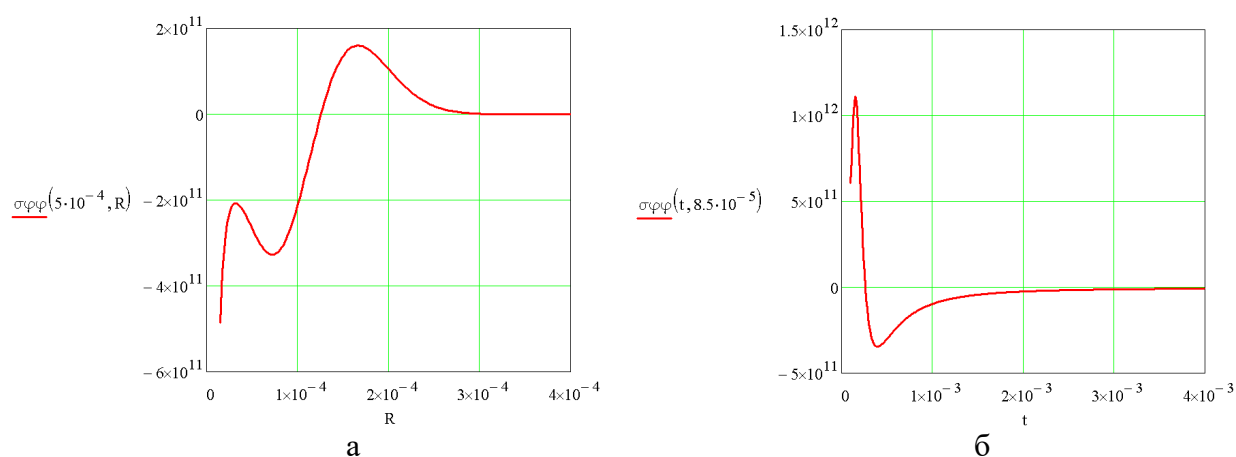


Рис. 2. Окружные $\sigma_{\varphi\varphi}$ напряжения, возникающие под действием точечного источника тепла

Результаты моделирования позволяют прогнозировать величину и распределение термомеханических напряжений в поверхностных слоях заготовки и электрода-инструмента и используются для выбора рациональных режимов обработки, обеспечивающих отсутствие дефектов в поверхностном слое электродов.

Библиографический список

1. Журина А. В. Методы расчёта технологических параметров и электродов-инструментов при электроэрозионной обработке: дис.канд. техн. наук: 05.03.01: защищена 14.10.05: Журин Александр Валентинович. – Тула., 2005. – 132 с.
2. Тимошенко С. П., Гудьер Дж. Теория упругости: Пер. с англ./ Под ред. Г. С. Шапиро.–2-е изд.–М.: Наука. Главная редакция физико-математической литературы, 1979, 560 с.
3. Дятлов Р. Н. Термомеханические процессы на электродах при электроэрозионной обработке/ Р. Н. Дятлов, Е. К. Буханова // Новые информационные технологии в научных исследованиях: материалы XXVI Всероссийской научно-технической конференции студентов, молодых учёных и специалистов; Рязань: ИП Коняхин А.В. (BookJet). – 2021. – С. 238-240.

УДК 621.9.042; ГРНТИ 55.19.13

ОПРЕДЕЛЕНИЕ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ РЕЖИМОВ ОБРАБОТКИ ЭЛЕМЕНТОВ КОРПУСА СИЛОВОГО ТРАНСФОРМАТОРА НА ОБОРУДОВАНИИ С ЧПУ

М.В. Ленков, И.А. Фролова

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

Аннотация. В работе рассматриваются современные подходы производства корпусных элементов электротехнических устройств на основе применения автоматизированных технологических процессов. Проводится их анализ, отмечаются их основные особенности, достоинства и недостатки, а также возможность применения для решения прикладной задачи.

Ключевые слова: конструкторско-технологическое проектирование, автоматизация производства, технологические процессы, силовой трансформатор, система с числовым программным управлением (ЧПУ).

DETERMINATION OF TECHNOLOGICAL MODES OF PROCESSING ELEMENTS OF THE POWER TRANSFORMER HOUSING ON CNC EQUIPMENT

M.V. Lenkov, I.A. Frolova

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

Annotation. The paper considers modern approaches to the production of housing elements of electrical devices based on the use of automated technological processes. Their analysis is carried out, their main features, advantages and disadvantages are noted, as well as the possibility of using them to solve an applied problem.

Keywords: design and technological design, production automation, technological processes, power transformer, numerical control system (CNC).

В современном мире силовая электротехника охватывает практически все сферы жизнедеятельности человека: промышленность, транспорт, авиацию, добывающие отрасли, связь, военную технику, быт и т.д. Так как именно она даёт возможность людям решить ряд основных вопросов, связанных с проблемой радикального улучшения эффективности использования энергии. Во многих технических отраслях применяются устройства плавного пуска, регуляторы скорости, источники бесперебойного питания, работающие на современной полупроводниковой базе, и показывающие высокую эффективность.

В настоящее время значительно увеличивается энергоёмкость различных производственных процессов и активно развиваются промышленные электроэнергетические системы, что в целом предопределяет модернизацию силовой электротехники. Этому также способствует мировой технический прогресс в разработке новых элементов силовой электротехники.

троники с расширенными и улучшенными функциональными характеристиками, и параметрами: трансформаторов, дросселей, силовых ключей, конденсаторов и т. д. Также возрастает сложность схем и систем силовой электроники и требования к определению безаварийных рациональных и оптимальных режимов их работы.

Одной из основных задач производства элементов силовой электротехники является обеспечение требований к повышению рабочих характеристик и одновременное уменьшение размеров и стоимости.

На многих этапах создания и применения элементов силовой электротехники применяются программно-аппаратные комплексы с ЧПУ. Чаще всего они применяются на этапах разработки, выбора схемотехнических решений, моделирования вариантов проектируемых схем, оптимизации их параметров и разработки конструкторской документации. Основной технико-экономический эффект создаётся на первоначальных этапах проектирования, благодаря резкому сокращению времени на анализ и сравнению технических решений, принимаемых для электронных устройств в целом и их подсистем с учётом их иерархических связей. Способность оперировать с огромным числом вариантов схемотехнических решений и способов их реализации, исключая необходимость изготовления конструктивных компонентов для физического моделирования, позволяет принципиально сократить сроки и затраты на проектирование нового изделия.

Благодаря функциональным возможностям программно-аппаратных комплексов с ЧПУ, имеется возможность моделирования процессов в электронном устройстве с большой степенью адекватности результатов моделирования реальным характеристикам. Это обусловлено учетом большого числа переменных, описывающих состояние приборов и элементов, входящих в моделируемый объект, что позволяет проанализировать работу электронных устройств на интервалах малой длительности. С другой стороны, также при росте числа обрабатываемых параметров и возрастании при этом объема контролируемой информации существенно замедляют скорость исследования процессов относительно реального масштаба времени. Но всё равно программно-аппаратный комплекс с ЧПУ ориентирован на конечный результат проектирования элементов силовой электроники.

При проектировании элементов силовой электроники необходимо рациональное распределение массы и мощности потерь между элементами схемы. Во время разработки элементов на системном уровне с учётом первичных источников электроэнергии и параметров потребителей и применением оригинальных для каждого класса электронных устройств алгоритмов и программ их расчета достигается наилучший эффект [1].

В процессе развития производства силовых полупроводников приборов стало очевидно, что необходимо автоматизировать процесс, так как при изготовлении деталей огромную роль играет человек. А на производство оказывает влияние человеческий фактор, который влечёт за собой следующие последствия:

- неточность движений;
- загрязнение;
- ошибки.

Изготовление силовых полупроводниковых приборов имеет не такой массовый характер, как изготовление изделий микроэлектроники, но их номенклатура достаточно велика. Также много изделий производятся в мелких сериях по специальным заказам. И все силовые полупроводниковые приборы имеют жёсткие требования к надёжности и качеству производства, так как «цена отказа» в силовой электронике может быть очень высокой. Помимо этого, ещё и рынок устанавливает свои требования по стоимости и срокам поставки изделий.

Для того, чтобы обеспечить все выше перечисленные требования, необходимо развить систему гибкого производства.

Гибкое производство – это производство, адаптированное к мгновенному исполнению специальных заказов и изготовлению приборов как мелкой, так и большой серийности, способное удовлетворить требования к надёжности и качеству и к адекватной стоимости.

Для автоматизации и эффективности производства, оно должно быть оснащено аппаратно-программными комплексами с ЧПУ, современными технологическими линиями и измерительным оборудованием, с помощью которого обеспечивается полный цикл изготовления элементов силовой электроники. Также для целесообразного ведения производства, планирования, распределения ресурсов на предприятия должна быть внедрена ERP-система для создания единого информационного пространства между всеми подразделениями.

При производстве определённых сложных силовых полупроводниковых приборов, использование станков с ЧПУ оказывается практически единственным и оптимальным решением. Данное оборудование эффективно использовать при отсутствии оснастки. Главной функцией станка с ЧПУ является точное и автоматическое управление движением рабочих органов.

Все производители, занимающие нишу на рынке силовой электроники, стремятся к уменьшению габаритов преобразовательных устройств при одновременном росте их мощностных характеристик. В этом им помогают новые технологии, где применяются новейшие методы расчёта и проектирования. Для увеличения плотности мощности необходимо совершенствование всей архитектуры силового модуля, что обусловлено необходимостью более эффективного отвода тепла. Здесь центральная роль отводится корпусу проектируемого электротехнического изделия.

Одной из таких прикладных задач в электротехнике является разработка технологического процесса изготовления корпусов трансформаторов. На рисунке 1 показана трехмерная модель элемента корпуса силового трансформатора, для производства которого требуется разработка технологических режимов работы автоматизированного производства. Перед обработкой детали корпуса силового трансформатора на станке с ЧПУ необходимо провести технологический контроль и сопоставить между собой чертёж детали и заготовку для убеждения правильно расставленных размеров, технических требований, которые понадобятся в процессе обработки и программировании станка с ЧПУ. А также для повышения уровня технологичности детали путем введения конструктивных изменений.

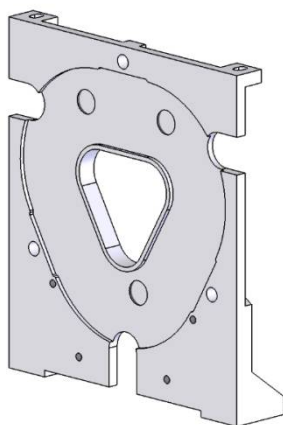


Рис. 1. Модель элемента корпуса силового трансформатора

Для упрощения программирования оборудования с ЧПУ к чертежам корпусов, которые будут обрабатываться, предъявляются особенные требования:

- обозначение тех поверхностей заготовки, которые подлежат обработке;

- контуры пространственно-сложных деталей указываются размерами радиусов и координатами центров окружностей;
- точность размеров, чтобы не было необходимости производить пересчет при составлении траекторий движения инструментов.

Для более точного изготовления корпуса силового трансформатора на станке с ЧПУ необходимо в начале определить технологические режимы обработки такие как: глубина резания (t), подача (s), скорость резания (v).

Данные режимы обработки подбираются индивидуально под каждую деталь, исходя из следующих факторов заготовки:

- характеристики обрабатываемого материала (жесткость, форма, прочность и т.д.);
- способ закрепления заготовки на станке;
- вид режущего инструмента;
- мощность резания;
- станок, на котором будет происходить обработка.

Глубина резания (t) – это самое короткое расстояние между обрабатываемой и обработанной поверхностями заготовки (то есть перпендикуляр).

Её значение рассчитывается в зависимости от мощности станка, величины припуска, прочности и жесткости составляющих технологической системы. Глубину резания при черновой обработке назначают по возможности максимальную, равную большей части припуска, при чистовой обработке – в зависимости от требуемых точности размеров и шероховатости обработанной поверхности.

Подача (s) – это траектория режущей кромки инструмента относительно заготовки в направлении движения подачи за один оборот либо один ход заготовки или инструмента.

В зависимости от обеспечения максимальной производительности процесса выбирается максимальное допустимое значение подачи. При черновой обработке ее величина ограничивается жесткостью и способом крепления обрабатываемой детали, прочностью и жесткостью инструмента, прочностью механизма подачи станка. При чистовой обработке подача определяется заданной точностью и шероховатостью обработки.

Скорость резания (v) – это расстояние, пройденное точкой режущей кромки инструмента относительно заготовки в единицу времени.

Данная величина определяется формулами теории резания или устанавливается по нормативам, исходя из условий обработки. При определении скорости резания ориентируются на среднюю экономическую стойкость инструмента.

Анализ технологических режимов обработки элементов электротехнических изделий на современных станках и оборудовании с ЧПУ имеет определяющее значение при формировании их конструктивных и электрических параметров. Поэтому правильный выбор режимов: глубины резания, подачи и скорости резания определяют качество производства силового трансформатора в целом.

1. Маклиман В. Проектирование трансформаторов и дросселей. Справочник. 3-е изд., пересм. и доп. / Перевод с англ. Попов В. В. – М.: ДМК Пресс, 2016. – 476 с.

УДК 621.57; ГРНТИ 55.67.00

ИЗМЕРЕНИЕ РЕАЛЬНОГО ПОТРЕБЛЕНИЯ ЭЛЕКТРОЭНЕРГИИ БЫТОВЫМ ХОЛОДИЛЬНЫМ ПРИБОРОМ

А.В. Пруцков

*Рязанский государственный радиотехнический университет имени В. Ф. Уткина,
Рязанский государственный медицинский университет имени академика И. П. Павлова,
Рязанский государственный университет имени С. А. Есенина,
Российская Федерация, Рязань, <http://prutzkow.com>*

Аннотация. Одним из критериев покупки бытовых холодильных приборов является их энергопотребление. Производители указывают этот показатель в инструкциях к приборам. Однако измерение энергопотребления проводится в условиях, определенных нормативными документами и отличающихся от реальных. Было проведено измерение реального потребления электроэнергии бытовым холодильным прибором в три временных периода с включенным и отключенным морозильным отделением. Потребление электроэнергии холодильным прибором оказалось больше заявленного производителем на 9,0%. Морозильное отделение потребляет 61,9% от всего потребления прибора.

Ключевые слова: бытовые холодильные приборы, измерение энергопотребления.

MEASURING ACTUAL CONSUMPTION OF ENERGY BY HOUSEHOLD REFRIGERATION APPLIANCE

A. V. Prutzkow

*Utkin Ryazan State RadioEngineering University,
Pavlov Ryazan State Medical University,
Yesenin Ryazan State University,
Russian Federation, Ryazan, <http://prutzkow.com>*

Abstract. One of the criteria for buying household refrigeration appliances is their energy consumption. Manufacturers include this indicator in the instructions for the appliances. However, energy consumption measurement is carried out under conditions defined by regulatory documents and differing from real ones. We measure the actual consumption of electricity by a household refrigeration appliance in three time periods with the freezer compartment on and off. The consumption of electricity by the refrigeration appliance turned out to be 9.0% higher than the one declared by the manufacturer. The freezer compartment consumes 61.9% of the total consumption of the appliance.

Keywords: household refrigeration appliances, energy consumption measuring.

Введение

Бытовые холодильные приборы (холодильники) стали неотъемлемой частью любой квартиры или дома. Сложно представить, что какие-то сто лет назад домохозяйки не могли сохранить скоропортящиеся продукты до следующего дня и вынуждены были готовить их заново или покупать их новую порцию.

Критериями выбора холодильника являются следующие:

1. Максимальная цена.
2. Размеры. Определяются в зависимости от планируемого местоположения холодильника, количества членов семьи, которые будут им пользоваться.
3. Объем морозильной камеры. Определяются в зависимости от числа членов семьи, объема запасов даров сада на зиму, частота посещения магазинов и другие.
4. Класс энергоэффективности и годовое потребление электроэнергии.

Значения параметров последнего критерия указываются в инструкции по эксплуатации. Эти значения рассчитываются по определенной методике [1] и могут отличаться от реальных.

Цель работы представить реальные значения потребления электроэнергии холодильника.

Объект измерения потребления электроэнергии

Объектом измерения являлся холодильник LiebherrCN 3915[2]. Этот прибор имеет следующие параметры и возможности:

- размеры, см: 201,1 × 60 × 62,5;
- год выпуска: 2016;
- общий объем морозильного и холодильного отделений, л: 340;
- объем морозильного отделения, л: 119;
- класс энергоэффективности: A++;
- годовое потребление электроэнергии, кВт: 238;
- возможность отключения холодильного отделения.

Условия измерения потребления электроэнергии

Холодильник находился в помещении со следующими особенностями и эксплуатировался следующим образом:

- температура в помещении большой промежуток времени поддерживалась на уровне 20-23 С;
- температура морозильного отделения холодильника установлена –18 С;
- температура холодильного отделения холодильника установлена +5 С;
- потребление электроэнергии другими приборами было минимальным;
- двери холодильного и морозильного отделений открывались в среднем раз в 3-4 дня.

Результаты измерения потребления электроэнергии бытовым холодильным прибором

Измерения проводились в три временных периода (см. таблицу). Показания энергопотребления фиксировались бытовым электросчетчиком.

Параметры периодов измерений потребления электроэнергии бытовым холодильным прибором

Названия показателей	Период 1	Период 2	Период 3
Дата начала периода	18.09.2017	30.07.2018	19.09.2021
Дата конца периода	14.04.2018	12.03.2019	26.01.2022
Включение холодильного отделения	Да	Да	Нет
Средний результат кВт/сутки	0,810	0,717	0,442
Средний результат кВт/месяц	24,3	21,5	13,3
Средний результат кВт/год	295,6	261,6	161,3
Всего потреблено, кВт	168,1	161,3	57,1
Продолжительность периода, дней (округленно)	208	225	129

В отличие от периода 1 в период 2 (как и в период 3) была открыта дверь на балкон, что позволило снизить энергопотребление на 0,093 кВт в сутки.

Заключение и выводы

1. Перечислены критерии выбора бытового холодильного прибора (холодильника).
2. Перечислены параметры и возможности объекта измерения потребления электроэнергии – холодильника LiebherrCN 3915.
3. Перечислены особенности помещения, в котором эксплуатировался холодильник.

4. Приведены результаты измерения потребления электроэнергии бытовым холодильным прибором.

5. Реальное потребление электроэнергии холодильника оказалось больше заявленного производителем на 9,0% (по периоду 2).

6. Морозильное отделение потребляет 61,9% от всего потребления холодильника (период 3 к периоду 2).

Повышению эффективности холодильников уделяется большое внимание. Направления такого повышения рассматривается в [3]. Нормативные документы, регулирующие измерения потребления электроэнергии бытовыми приборами, перечислены в [4]. Здесь же вы найдете статистику долей потребления электроэнергии различными типами бытовых приборов.

Библиографический список

1. ГОСТ ИЕС 62552-2013. Приборы холодильные бытовые. Технические требования и методы испытаний. – Введ. 2015–01–01. – М.: Стандарт информ, 2015. – III, 66 с.
2. CN 3915 Comfort NoFrost Двухкамерный холодильник с функцией NoFrost – Liebherr. URL: <https://home.liebherr.com/ru/rus/ru/бытовая-техника/отдельностоящая-техника/комбинированные-холодильники-морозильники/details/cn-3915.html>. Дата обращения: 30.12.2021.
3. Комиссаров И. Н., Тувин А.А., Фомин Ю. Г. Повышение эффективности работы бытовой холодильной техники // Молодые ученые – развитию национальной технологической инициативы (поиск). – 2019. – № 1–2. – С. 104–106.
4. Смага Г. А. Роль нормативных документов при внедрении энергетической эффективности электробытового оборудования // Стандарты и качество. – 2010. – № 12. – С. 46–50.

УДК 621.316:62.237 ; ГРНТИ 50.09.47

УЧЕБНЫЙ СТЕНД НА ОСНОВЕ ПРЕОБРАЗОВАТЕЛЯ ЧАСТОТЫ ДЛЯ МОДЕЛИРОВАНИЯ ПОДЪЕМНО-ТРАНСПОРТНЫХ ПРОЦЕССОВ

А.В. Нестеров

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

Аннотация. В работе рассматривается конструкция и основные элементы учебного стенда, разработанного для моделирования подъемно-транспортных процессов. Приводятся его особенности и функциональные возможности. Рассматривается структура специализированного программного обеспечения, предназначенного для повышения наглядности работы с данным стендом.

Ключевые слова: учебный стенд, подъем, редуктор, преобразователь частоты, OPC-сервер, протокол Modbus.

A TRAINING STAND BASED ON A FREQUENCY CONVERTER FOR MODELING LIFTING AND TRANSPORT PROCESSES

A.V. Nesterov

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

The summary. The paper considers the design and main elements of the training stand designed for modeling lifting and transport processes. Its features and functional possibilities are given. The structure of specialized software designed to increase the visibility of work with this stand is considered.

Keywords: training stand, lift, gearbox, frequency converter, OPC server, Modbus protocol.

Существующие процессы модернизации устаревшего оборудования и внедрения автоматизированных систем управления в различных отраслях промышленности ведут к по-

становке новых задач перед образовательными учреждениями, готовящими специалистов, которые будут в дальнейшем разрабатывать и обслуживать устройства на основе таких систем.

Учащимся, осваивающим соответствующие компетенции, необходимо не только преподавать теоретическую сторону профильных дисциплин, но требуется также обеспечить возможность получения практических навыков работы с современным оборудованием.

Выполнение данной задачи невозможно без включения в учебный процесс нового лабораторного оборудования, позволяющего моделировать технологические процессы в различных отраслях промышленности.

Необходимо отметить, что несмотря на разнообразие промышленных предприятий, практически на любом предприятии осуществляются подъемно-транспортные процессы при помощи специализированного оборудования – лебедок, тельферов, кранов и т.п. Основным типом привода таких устройств все чаще становится асинхронный электрический двигатель в связке с системой управления на основе преобразователя частоты.

Таким образом, при подготовке специалистов в области систем управления и механики для любых промышленных предприятий следует учесть, что они должны хорошо представлять принципы функционирования оборудования, предназначенного для выполнения подъемно-транспортных операций.

Для получения практических навыков в данном направлении студентами средних специальных, высших учебных заведений, инженерно-техническими работниками предприятий, учащимися курсов повышения квалификации в 2021 году компанией ООО «СИНЭЛТ» (г. Рязань) под руководством директора, Нестерова А.В. был разработан и запущен в серию учебный стенд на основе асинхронного электродвигателя и системы управления с преобразователем частоты.

Стенд позволяет моделировать подъемно-транспортные процессы, изучать структуру, конструкцию, основные принципы работы подъемных механизмов и их систем управления на примере лебедки.

Лебедка – механизм, тяговое усилие которого передается посредством гибкого элемента (каната или цепи), наматывающегося на барабан или другой тяговый орган [1].

По назначению различают лебедки подъемные, применяемые при подъеме груза и изменении вылета стрел; тяговые, используемые для перемещения грузовых тележек и волока грузов; поворотные, применяемые для вращения кранов [2].

По типу привода лебедки делятся на ручные и лебедки с приводом. При погрузо-разгрузочных операциях наиболее часто применяют лебедки с электродвигателями на переменном токе. Обычный привод с электродвигателем переменного тока имеет одну рабочую скорость. Оснащение привода преобразователем частоты позволяет осуществлять плавное регулирование скоростей: от малых при подъеме тяжелых грузов до больших скоростей холостых движений.

Лебедки бывают редукторные и фрикционные. У редукторных лебедок вал двигателя и барабан соединяются посредством редуктора. В зависимости от направления вращения электродвигателя меняется процесс – подъем или спуск. У фрикционных лебедок подъем осуществляется за счет фрикционной муфты, а спуск идет за счет силы тяжести, подтормаживание происходит специальным тормозом.

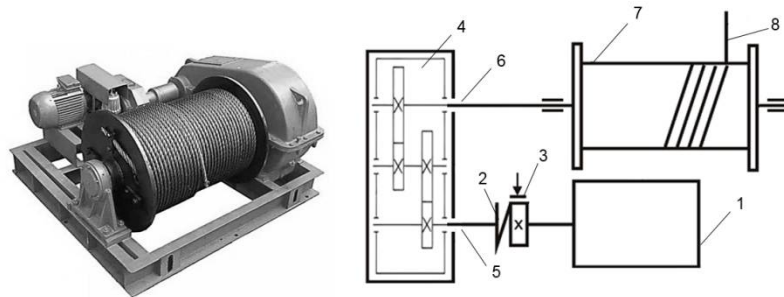


Рис. 1. Внешний вид (слева) и кинематическая схема (справа) реверсивной электрической лебедки с цилиндрическим редуктором: 1-электродвигатель; 2-муфта; 3-тормоз; 4-редуктор; 5-быстроходный вал редуктора; 6-тихоходный вал редуктора, 7-барабан, 8-канат

Изображения и кинематические схемы однобарабанных реверсивных лебедок с самыми распространенными типами редукторов представлены на рисунках 1 и 2.

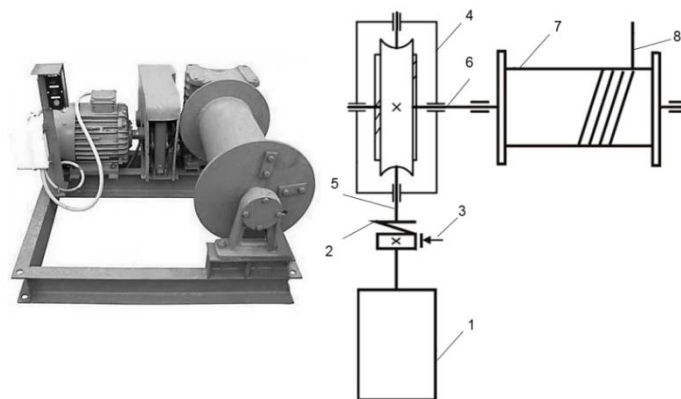


Рис. 2. Внешний вид (слева) и кинематическая схема (справа) реверсивной электрической лебедки с червячным редуктором: 1-электродвигатель; 2-муфта; 3-тормоз; 4-редуктор; 5-быстроходный вал редуктора; 6-тихоходный вал редуктора, 7-барабан, 8-канат

Кинематическая схема, изображенная на рисунке 2 и легла в основу разработанного учебного стенда (рисунок 3).

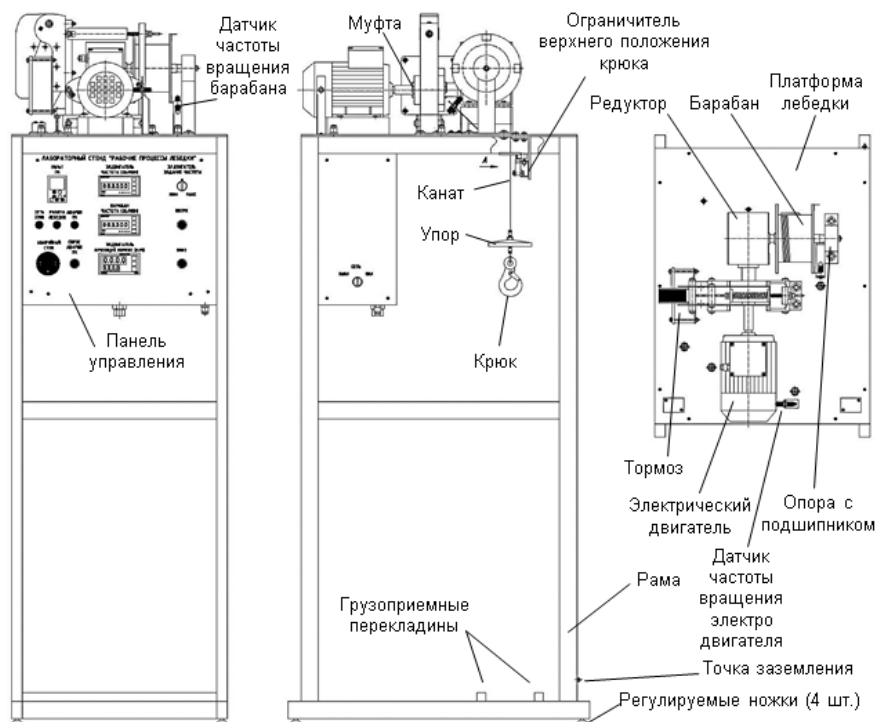


Рис. 3. Учебный стенд

(слева – направо: вид спереди, вид сбоку, вид сверху, электрические провода и кабели условно не показаны)

Стенд конструктивно выполнен в виде напольной рамной конструкции (Рисунок 3). На раме спереди закреплена панель управления, на верхней части закреплена платформа с механизмами лебедки. На платформе соосно находятся асинхронный электродвигатель мощностью 0,37 кВт и одноступенчатый червячный редуктор с передаточным числом 20.

Их валы соединены через муфту МУВП конструкция которой представлена на рисунке 4.

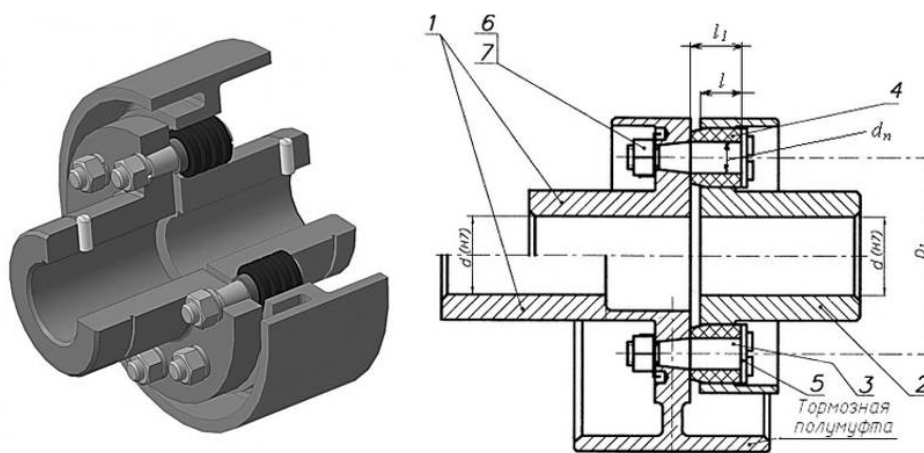


Рис. 4. Модель (слева) и чертеж (справа) муфты упругой втулочно-пальцевой: 1, 2 – полумуфты; 3 – палец; 4 – втулка упругая; 5 – шайба для пальцев; 6 – шайба стопорная с носком; 7 – гайка

Данная муфта является компенсирующей. Компенсация несоосного расположения валов осуществляется за счет деформации упругого силового элемента муфты - резиновых втулок. Благодаря легкости изготовления и замены резиновых элементов эта муфта получила

распространение, особенно в приводах от электродвигателей с малыми и средними крутящими моментами [3].

Муфта состоит из двух полумуфт, одна из которых используется в качестве тормозного шкива, диаметром 100 мм для электромагнитного тормоза ТКТ-100, установленного между электродвигателем и редуктором. Данный тормоз является двухколодочным. Тормозной момент, создаваемый двухколодочным тормозом равен сумме тормозных моментов, развиваемых каждой колодкой [4]. Тормоз разработанного стенда оснащен электромагнитной катушкой серии МО на 220 переменного однофазного тока частотой 50Гц с допустимой продолжительностью включения (ПВ) 100%. Это соответствует прерывисто-продолжительному режиму работы – до 300 включений в час.

Вал редуктора входит в подшипник, установленный на опоре. На валу крепится барабан с канатом. Канат проходит через отверстие в платформе и подвижную рамку ограничителя верхнего положения крюка.

Такие ограничители устанавливаются на большинство механизмов подъема груза для обеспечения безопасного подъема. В качестве ограничителя наиболее часто применяют конечные выключатели рычажного типа. Принцип их действия прост – упор, закрепляемый на канате упирается в скобу, которая в свою очередь нажимает на концевой выключатель, замыкающий цепь питания электродвигателя лебедки. Ввиду их широкой распространенности ограничитель именно этого типа применен в конструкции стенда.

Данный ограничитель закреплен с обратной стороны платформы. На конце каната закреплен крюк и упор. Упор в верхнем положении нажимает рамку ограничителя верхнего положения крюка, тем самым блокируя дальнейший подъем груза из комплекта стенда.

Частота вращения вала электродвигателя регулируется при помощи преобразователя частоты (ПЧ), установленного внутри панели управления (рисунок 5), соответственно позволяя изменять скорость подъема и спуска груза. Скорость ПЧ задается потенциометром, сигнал (0...10В) с которого приходит на аналоговый вход ПЧ. Опорное напряжение 10В постоянного тока берется с соответствующего выхода ПЧ. Выбор направления вращения электродвигателя и соответственно включение нужного режима работы лебедки стенда – подъем или спуск осуществляется кнопками “ВВЕРХ” и “ВНИЗ”, формирующими сигналы на дискретных входах ПЧ.

Также преобразователь частоты вычисляет текущий крутящий момент на валу электродвигателя на основе параметров электродвигателя, записанных в его памяти, результатов автоматического измерения параметром обмоток электродвигателя, а также текущих измерений тока и напряжения электродвигателя.

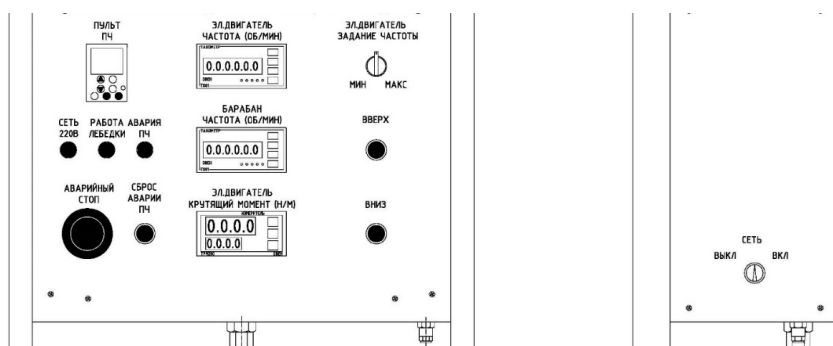


Рис. 5. Панель управления учебного стенда, (слева – направо: вид спереди, вид сбоку, электрические провода и кабели условно не показаны)

Для измерения частоты вращения валов электродвигателя и барабана используются индуктивные датчики. На валу электродвигателя расположен диск с двумя осесимметрич-

ными металлическими метками, а на боковой части барабана осесимметрично приварены четыре плоские металлические метки. Метки при вращении приводят к срабатыванию соответствующих датчиков частоты вращения.

Дискретные сигналы с данных датчиков и аналоговый сигнал 4...20 мА постоянного тока с выхода преобразователя частоты передаются в соответствующие блоки обработки информации, оснащенные АЦП. Вычисленные значения частот и момент отображаются на индикаторах данных блоков. Питание датчиков, 24В постоянного тока, осуществляется с блоков обработки информации.

Блоки обработки информации объединены двухпроводной сетью передачи данных RS485 на основе промышленного протокола передачи данных Modbus RTU [5]. В данной сети они являются подчиненными “slave” устройствами и имеют следующие адреса: 1 – тахометр электродвигателя, 2 – тахометр барабана, 3 – измеритель крутящего момента. Они по запросу от компьютера (“master” – устройство) передают данные через преобразователь RS485 – USB в рабочее программное обеспечение.

Взаимодействие между программой и преобразователем осуществляется посредством драйвера преобразователя, формирующего на компьютере виртуальный COM – порт и программы OPC-сервер, которая обрабатывает данные полученные от преобразователя, формирует соответствующие переменные и передает их в OPC – клиент, являющийся частью рабочей программы (рисунок 6). Данная программа на основе этих переменных отображает величины “Частота электродвигателя”, “Частота барабана” и “Крутящий момент”.

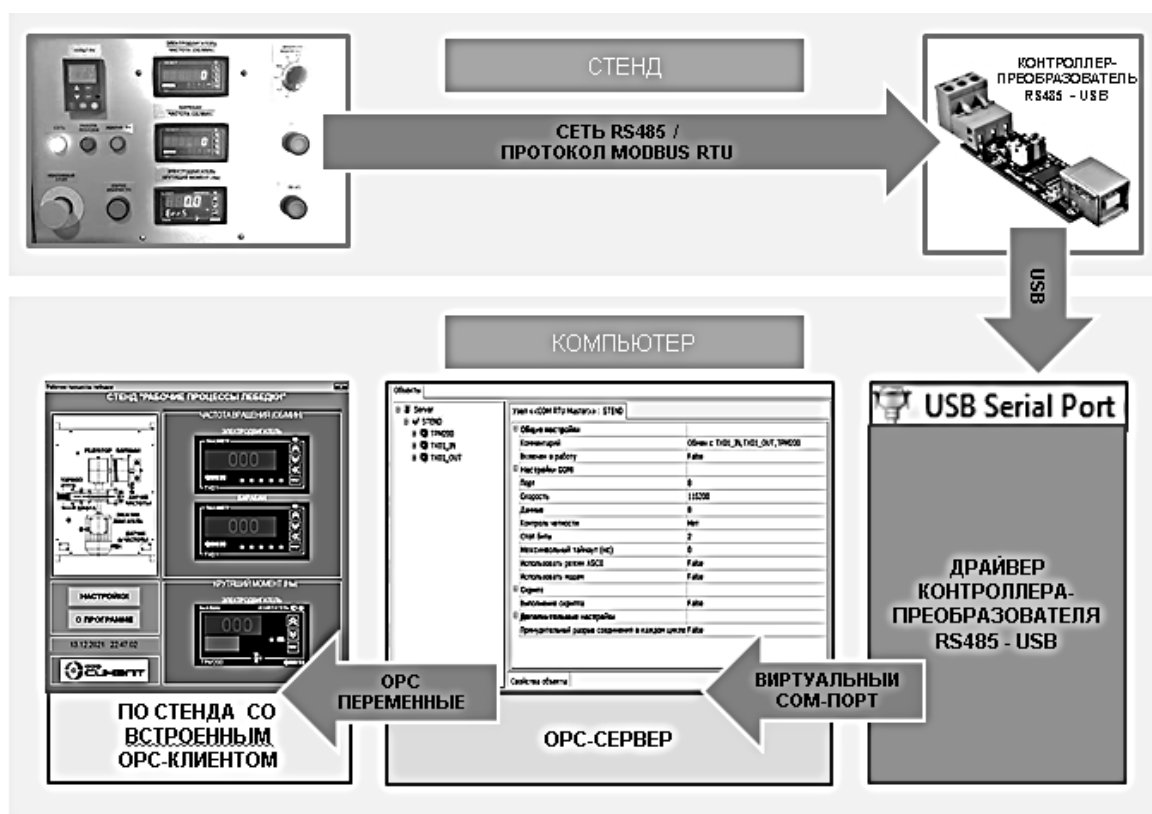


Рис. 6. Структура обмена данными между стендом и компьютером

Реализованный стенд позволяет выполнить следующие лабораторные исследования в рамках учебного процесса:

1. Изучение кинематической структуры лебедок и их основных элементов;

2. Ознакомление с конструкцией станда;
3. Измерение скоростей и вычисление передаточного числа редуктора;
4. Расчет максимальной скорости и грузоподъемности лебедки станда;
5. Измерение скорости наматывания каната при различной частоте вращения;
6. Определение основных параметров барабана;
7. Вычисление тормозного момента при подъеме и спуске груза.

Библиографический список

1. Соколова А.Д., Визильтер В.С. Подъемно-транспортное и такелажное оборудование для монтажа строительных конструкций: Учебн. для техникумов – 5-е изд., перераб. и доп. – М.: Стройиздат, 1987. – 332 с.
2. Волков Д. П., Алешин Н. И. и др. Строительные машины: Учебник для вузов – М.: Высшая школа, 1988. – 319 с.
3. Иванов Н.М., Финогенов В.А. Детали машин: Учебник для машиностроительных специальностей вузов – 9-е изд., испр. – М.: Высшая школа, 2005. – 408 с.
4. Александров М.П. Грузоподъемные машины: Учебник для вузов – М.: Высшая школа, 2000 – 552 с.
5. Денисенко В.В. Компьютерное управление технологическим процессом, экспериментом, оборудованием. – М.: Горячая Линия - Телеком, 2009. – 608 с.

УДК 656.13; ГРНТИ 73.31.81

ИСКУССТВЕННЫЙ ИНТЕЛЛЕКТ В СИСТЕМЕ УПРАВЛЕНИЯ АВТОМОБИЛЬНЫМ ТРАНСПОРТОМ

Е.А. Семашко, Ю.А. Осипова

*Белорусский национальный технический университет,
Республика Беларусь, Минск, semashkoevgeny@yandex.ru*

Аннотация. В данной работе идет речь о том, что в последнее время искусственный интеллект проникает во все большее количество отраслей и транспортная отрасль не является исключением. В статье описаны способы применения искусственного интеллекта в системе управления автомобильным транспортом, их преимущества и недостатки.

Ключевые слова: искусственный интеллект (ИИ), транспортное средство, автомобильный транспорт, информационные технологии, автопилот, беспилотный транспорт.

ARTIFICIAL INTELLIGENCE IN THE ROADTRANSPORT MANAGEMENT SYSTEM

E.A.Semashko, J.A.Osipova

*Belarusian National Technical University,
Republic of Belarus, Minsk, semashkoevgeny@yandex.ru*

The summary. In this paper, we are talking about the fact that artificial intelligence has recently penetrated into an increasing number of industries and the transport industry is not an exception. The article describes the ways of using artificial intelligence in the road transport management system, their advantages and disadvantages.

Keywords: artificial intelligence (AI), vehicle, road transport, information technology, autopilot, unmanned transport.

В XXI веке невозможно представить современное общество без его взаимодействия с информационными технологиями. Подавляющее большинство сфер человеческой деятельности подвергается глобальной автоматизации, а именно, влиянию искусственного интеллекта. В качестве примера можно привести следующие виды деятельности:

- медицина (диагностика, разработка новых лекарственных средств);
- промышленность (планирование, контроль, испытания, сборка);

- сельское хозяйство (автоматизация полива растений, автоматизация уборки урожая, разработки в области уничтожения сорняков и распространения минеральных удобрений);
- дорожное движение (анализ ситуации на дороге, беспилотный транспорт);
- анализ инвестиционных процессов и проектов;
- торговля (оптовые и розничные магазины без продавцов) и т. д.

В настоящее время очень важно точно определить содержание и смысл понятия искусственного интеллекта, а также составные части, элементы, которые должны присутствовать в данном понятии.

Так, согласно определению А.Н. Аверкина, «искусственный интеллект (ИИ) – свойство интеллектуальных систем выполнять творческие функции, которые традиционно считаются прерогативой человека» [1]. В своей работе «Искусственный интеллект: состояние исследований и взгляд в будущее» Г.С. Осипов дает такое определение «ИИ – направление в информатике и информационных технологиях, задачей которого является воссоздание с помощью вычислительных систем и иных искусственных устройств разумных рассуждений и действий»[2]. Андреас Каплан и Майкл Хенлейнс в своих статьях же понимают под ИИ «способность системы правильно интерпретировать внешние данные, извлекать уроки из таких данных и использовать полученные знания для достижения конкретных целей и задач при помощи гибкой адаптации» [3]. Таким образом можно отметить, что все из вышеперечисленных определений сводятся к тому, что ИИ – это своеобразная способность системы создавать в ходе самообучения программы (в первую очередь эвристические) для решения задач определенного класса сложности и решать эти задачи.

Как было отмечено ранее, ИИ применяется во многих сферах человеческой деятельности, но, так как сфера транспорта – главная тема данной статьи – искусственный интеллект становится неотъемлемой частью транспортного комплекса в целом.

Говоря об автомобильном транспорте, необходимо отметить, что одним из главных преимуществ, которые отмечают специалисты компетентные в данной области, является повышение комфорта передвижения и, безусловно, безопасность на дороге [4]. Отсутствие человеческого фактора (который является преимущественным в совершении ошибок на дороге) и полное следование автомобиля алгоритмам способно ликвидировать вероятность возникновения дорожно-транспортных происшествий (ДТП). Однако, поскольку в широкое пользование беспилотные автомобили еще не пущены, и все ранее описанные преимущества ИИ основаны лишь на теоретических предположениях ученых, возможный успех данной концепции в будущем будет способствовать реализации данной идеи.

Кроме представленных положительных моментов, данная система имеет свои недостатки:

- ответственность за нанесение значительного ущерба;
- применение ИИ может отрицательно повлиять на экономику: потеря огромного количества рабочих мест людьми, которые были трудоустроены в рассматриваемой отрасли, что приведет к глобальной безработице;
- ненадежность программного обеспечения (ПО), от которого зависит безопасность человека [4].

По моему мнению, серьезной проблемой для беспилотных технологий на автомобильном транспорте может стать непредсказуемые действия пешеходов, водителей транспортных средств и других участников дорожного движения. Применение ИИ – это обязанность соблюдения всех правил дорожного движения – соблюдение скоростных ограничений, пропуск пешеходов на нерегулируемом пешеходном переходе, показ поворотов и так далее. Но всегда есть те, кто превышает скорость, не пропускает пешеходов, продолжает движение несмотря на красный сигнал светофора – и все подобные нарушения можно перечислять бесконечно. Из-за наличия таких проблем очень сложно сделать прогнозы по поводу внедрения автомобилей с технологиями ИИ. Если за рулем сидит водитель, то он может моментально

оценить ситуацию и принять оптимальное или наилучшее решение исходя из возникшей ситуации. Человек оценивает риски, и только ему нести ответственность за свое решение, а робот выбирает то действие, которое предусмотрено алгоритмом[5].

На автомобильном транспорте ИИ, как и на некоторых других видах транспорта, уже с определенным успехом применяется. Так, например, Яндекс и Google применяют алгоритмы собственной разработки, для того, чтобы делать изменения в дорожных картах сразу же, как только к ним поступает фотография с новым объектом на рассматриваемой местности.

В современных грузовых транспортных средствах ИИ применяется для идентификации дорожных знаков и разметки, реагирования на погодную и дорожную ситуацию. Все это позволяет создать комфортные условия вождения. Например, компания HERE, которая занимается разработкой картографических платформ, создала цифровое приложение, позволяющее предвидеть опасности на дороге посредством анализа изображений, поступающих с фронтальных камер, смартфонов или видеорегистраторов[6].

На сегодняшний момент разрабатываются автопилоты на основе ИИ. Нейросети дают возможность распознавать разнообразные объекты вокруг автомобиля.

Всего существует 6 уровней автопилотов в автомобильной отрасли:

– уровень 0 обозначает, что водитель транспортного средства полностью выполняет всю работу собственноручно.

– уровень 1 предполагает, что системе помогает водителю в управлении автомобилем, например, круиз-контроль, адаптивный круиз-контроль и автоматическая парковка.

– уровень 2 означает, что система полностью сама управляет транспортным средством, работа водителя состоит лишь в контроле за работой автопилота и готовностью вмешаться в процесс управления в любое время.

– уровень 3, включает в себя полностью уровень 2, единственное отличие состоит лишь в том, что от водителя не требуется немедленная реакция, ему нужно вмешаться в процесс в течение установленного времени.

– уровень 4 не предполагает постоянного внимания, автоматическое управление осуществляется в определенных гео зонах или ситуациях.

– уровень 5 означает, что присутствие человеческого внимания не требуется[7].

Исходя из теоретических положений беспилотные автотранспортные средства «Яндекса» и Google могут перейти на пятый уровень, но проблема состоит в том, что абсолютно никто не готов и не может дать полную автоматизацию автомобилю, так как это означает несение всей ответственности за возможные чрезвычайные ситуации.

Если говорить об общественном транспорте, то в данном случае есть возможность полностью отказаться от водителей, так как автоматизированные системы могут сами выполнять все их обязанности. Кроме того, ИИ может определять наиболее оптимальное количество подвижного состава, что позволит значительно сократить расходы на горюче-смазочные материалы.

Существуют разработанные модели беспилотных автобусов: это и КАМАЗ-1221 Шатл, Шаттл EasymileEZ10 (Франция), автобус OLLI(США)[8].

Так, например, автобус КАМАЗ-1221 Шатл имеет возможность достигать скорости до 110 км/ч (испытался на скорости 10 км/ч). Она не имеет руля и педалей, движение происходит исключительно в автономном режиме под контролем ИИ. Вмещает 12 пассажиров. По результатам прогнозирования, на дороги общего пользования беспилотные автобусы КАМАЗ могут выйти ориентировочно к 2030 г[8].

В заключении необходимо отметить, что сегодня присутствует интерес к искусственному интеллекту, который является трендовым направлением в науке, и, очевидно, что технология будет развиваться и дальше. Однако, существующих наработок ученых еще недостаточно, чтобы полностью сделать транспорт беспилотным. Так как ИИ работает, путем «обучения» на примерах из прошлого, то при возникновении совершенно новой и нестан-

дартной обстановки его действия станут непредсказуемыми, а это может стать губительным. Исходя из теоретических положений, некоторые системы уже могут перейти к полной автономности, но ответственность за ошибку такой системы слишком высока, что не позволяет этого сделать. Возможно, в скором будущем появится организация, которая сможет внедрить свои наработки в транспортную отрасль.

Библиографический список

1. Аверкин, А. Н. Толковый словарь по искусственному интеллекту / А. Н. Аверкин, М. Г. Гаазе-Рапопорт, Д. А. Поспелов. – М. : Радио и связь, 1992. – 256 с.
2. Осипов, Г. С. Методы искусственного интеллекта / Г. С. Осипов. – М. : Физматлит, 2011. – 299 с.
3. Каплан, А. Об интерпретациях, иллюстрациях и последствиях искусственного интеллекта / А. Каплан, М. Хенляйн // Бизнес-горизонты. – 2019. – №1. – С. 15-25.
4. Меркулов, Д. А. Искусственный интеллект на транспорте / Д. А. Меркулов // Научный лидер. – 2021. – №2. – С. 35-38.
5. Интернет автомобилей: первые шаги к беспилотной езде [Электронный ресурс]. Режим доступа: <https://habr.com/ru/>. Дата доступа: 14.02.2022.
6. Искусственный интеллект в логистике и грузовых перевозках [Электронный ресурс]. Режим доступа: <https://logist.today/>. Дата доступа: 15.02.2022.
7. SAEInternationalReleasesUpdatedVisualChart [Электронный ресурс]. Режим доступа: <https://www.sae.org/>. Дата доступа: 15.02.2022.
8. Вести КАМАЗа 2019 [Электронный ресурс]. Режим доступа: <https://vestikamaza.ru/>. Дата доступа: 16.02.2022.

УДК 621.396; ГРНТИ 47.47

МНОГОФАКТОРНОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ ФИНАНСОВОЙ ДЕЯТЕЛЬНОСТИ ПРЕДПРИЯТИЯ

Ю.А. Гуров, Ю.А. Сосулин

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

Аннотация. Решается задача многомерного моделирования. Производится построение корпоративной модели. Строится регрессионная зависимость рентабельности собственных средств от структуры капитала, структуры издержек и уровня инфляции.

Ключевые слова: регрессионный анализ (РА), многомерное моделирование (ММ).

MULTIFACTOR MODELING OF FINANCIAL ACTIVITY OF AN ENTERPRISE

Y.A. Gurov, Y.A. Sosulin

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

The summary. The problem of multidimensional modeling is solved. The construction of the corporate model is carried out. Regression dependence of return on equity on capital structure, cost structure and inflation level are built.

Keywords: regression analysis (RA), multivariate modeling (MM).

Деятельность любого предприятия представляется целым рядом показателей, характеризующих его эффективность. Одним из таких показателей является рентабельность собственных средств (РСС). Она показывает величину прибыли, которую получит предприятие на единицу стоимости собственного капитала. Рентабельность собственных средств определяется как отношение чистой прибыли к среднегодовой стоимости собственного капитала.

РСС является одним из самых важных показателей любого коммерческого предприятия т.к. это главный показатель прибыльности вложения средств в производство. Следовательно, чтобы производство было эффективно рентабельность собственных средств должна постоянно контролироваться. Однако, экономическая формула позволяет определить значение данного показателя только для конкретной ситуации, т.е. не позволяет выполнять прогноз по имеющимся факторам.

Для получения возможности прогнозирования и, соответственно, принятия управленческих решений, можно построить корпоративную модель. Для построения корпоративной модели в данной работе был выбран программный пакет Project Expert. Модель, построенная для конкретной финансово-экономической ситуации, позволяет получать прогнозные значения заданного показателя для изменяющихся значений параметров экономического окружения.

Экономическая теория рассматривает формирование финансово-экономических показателей изолированно друг от друга. Очевидно, однако, что эти показатели находятся во взаимной связи, и оказывают существенное влияние друг на друга. Это влияние характерно для конкретного предприятия, а также зависит от параметров экономического окружения. Представляется целесообразным определить эти связи в количественной форме, т.е. в виде математической модели, связывающей интересующий нас показатель (РСС) с другими показателями и параметрами окружающей среды. Для решения подобных задач используется экспериментально-статистический подход, позволяющий получить модель исследуемого объекта по экспериментальным данным. При этом предполагается, что модель объекта представляется регрессионной зависимостью известного вида.

Рентабельность собственных средств зависит от большого числа факторов, анализ влияния каждого из них на исследуемую величину является слишком трудоемким и время затратным. Причем оказываемое воздействие множества факторов будет слишком незначительным. Следовательно, целесообразным решением будет выделить несколько наиболее значимых факторов для использования их в регрессионной модели в качестве входных.

Для выбора первого фактора рассмотрим понятие производственный рычаг. Производственный рычаг — это механизм управления прибылью предприятия, основанный на оптимизации соотношения постоянных и переменных затрат. С его помощью можно прогнозировать изменение прибыли предприятия в зависимости от изменения объема продаж, а также определить точку безубыточной деятельности. Следовательно, оптимизация соотношения переменных и постоянных издержек может серьезно повлиять на прибыль предприятия, а значит и на рентабельность собственных средств.

Для выбора второго фактора обратимся к понятию финансового рычага. Финансовый рычаг — это отношение заемного капитала с фиксированным процентом к используемому в финансировании деятельности организации акционерному капиталу. Использование заемных средств связано для организации с определенными издержками, поэтому должно быть оптимальное соотношение между собственными и привлеченными финансовыми ресурсами. Понятием финансовый рычаг определяют, каково должно быть оптимальное соотношение между собственными и привлеченными долгосрочными финансовыми ресурсами и как это повлияет на прибыль. Следовательно, целесообразно выбрать вторым фактором отношение заемного капитала к собственному.

В качестве третьего фактора выбран показатель инфляции, так как любое изменение данного показателя может серьезно повлиять на любые финансовые процессы внутри предприятия.

Выбор вида модели необходимо проводить с максимально возможным представлением об исследуемом объекте. Ошибочный выбор типа функции в регрессионном уравнении может привести к нарушению предпосылки о нулевом ожидаемом значении случайного остатка. Заметим, что модель всегда отражает данное явление с некоторым приближением. Так

как характер зависимостей в технических объектах и экономических процессах обычно не превышает второго порядка, в данной работе была выбрана регрессионная модель следующего вида:

$$y = b_0 + b_1x_1 + b_2x_2 + b_3x_3 + b_{12}x_1x_2 + b_{23}x_2x_3 + b_{13}x_1x_3 + b_{11}x_1^2 + b_{22}x_2^2 + b_{33}x_3^2, \quad (1)$$

где b_n — оценки неизвестных коэффициентов;

x_1 — отношение переменных издержек к постоянным;

x_2 — отношение заёмного капитала к собственному;

x_3 — инфляция;

y — рентабельность собственных средств.

Чтобы начать использовать модель (1), необходимо произвести расчет значения оценок неизвестных коэффициентов регрессии. Подобные вычисления можно производить с помощью любого программного пакета статистического анализа. В данной работе для расчета оценок неизвестных коэффициентов регрессии используется программный комплекс STATISTICA.

Наиболее важным этапом в получении оценок неизвестных коэффициентов, помимо выбора подходящей модели, является получение матрицы эксперимента. Обычно для построения регрессионных моделей используют полный факторный эксперимент (ПФЭ). Особенностью такого плана является отсутствие сложных вычислительных процедур при любых размерностях факторного пространства. При построении матрицы эксперимента каждый фактор будет принимать три значения – минимальное, среднее и максимальное. Следовательно, получится ПФЭ типа 3^n , где n равен числу факторов. В данном случае $n=3$. Соответственно в матрице эксперимента будет находиться 27 наблюдений.

Встроенные средства Project Expert не позволяют получить результаты при варьировании факторов на указанных уровнях. Следовательно, для заполнения матрицы эксперимента необходимо изменять значения выбранных факторов на указанных уровнях во всех возможных сочетаниях. Получаемые значения рентабельности собственных средств для каждого набора значений факторов будет представлять требуемую для построения регрессионной модели матрицу планирования. Для анализа и интерпретации получаемой регрессионной модели обычно выполняется нормирование факторного пространства. В этом случае значения факторов в матрице эксперимента будут обозначаться по следующему принципу: фактор с максимальным значением — +1, минимальным — -1, а средним — 0. После нормирования полученную матрицу эксперимента необходимо занести в программный пакет STATISTICA.

Для иллюстрации предложенной методики рассмотрено предприятие по производству средств вычислительной техники. Разработана модель денежных потоков предприятия и на ее основе произведен расчет оценок неизвестных коэффициентов. Затем после подстановки их в функцию регрессии модель приняла следующий вид:

$$y = 1,97 + 1,01x_1 + 1,64x_2 + 0,8x_3 + 0,68x_1x_2 + 0,05x_2x_3 + 0,02x_1x_3 + 0,01x_1^2 + 0,99x_2^2 + 0,01x_3^2 \quad (2)$$

В регрессионной зависимости коэффициенты перед независимыми переменными определяют их вклад в образование зависимой переменной. Таким образом, чем больше значение оценки неизвестного коэффициента, стоящего перед регрессором, тем сильнее влияние этого регрессора на образование выходной величины. В рассматриваемой модели наибольший коэффициент стоит перед x_2 и x_2^2 , что означает наиболее сильную зависимость рентабельности собственных средств от отношения заемного капитала к собственному, причем квадратичная составляющая вносит ощутимый вклад в образование выходной величины. По

аналогии, вторым по воздействию на РСС будет являться отношение переменных издержек. Инфляция вносит меньший вклад по сравнению с отношением переменных издержек к постоянным и отношению заемного капитала к собственному, однако её влияние на рентабельность собственных средств все ещё достаточно велико. Также следует отметить достаточно сильное влияние на выходную величину корреляции между x_1 и x_2 . Остальные части регрессионной зависимости обладают пренебрежительно малыми оценками коэффициентов, что означает их малую значимость в образовании значения РСС.

Таким образом, построенная модель (2) позволяет получать прогнозные значения рентабельности собственных средств для изменяющихся значений внешних и внутренних финансово-экономических параметров. При этом учитывается влияние всех трех факторов одновременно. Кроме этого, полученная модель позволяет определить значения факторов x_1 и x_2 обеспечивающие требуемое значение показателя рентабельности собственных средств. Также благодаря учету инфляции (x_3) появляется возможность своевременного реагирования на изменяющуюся экономическую обстановку.

Таким образом, предлагаемая методика обеспечивает эффективное управление основными финансово-экономическими показателями деятельности предприятия в условиях изменяющегося внутреннего и внешнего экономического окружения.

Библиографический список

1. Айвазян С.А. Основы эконометрики. – М.: ЮНИТИ-ДАНА, 2001. — 432 с.
2. Магнус Я.Р., Катышев П.К., Пересецкий А.А. Эконометрика. – М.: Дело, 1998.— 248 с.

УДК 004.021; ГРНТИ 28.29

ИНФОРМАЦИОННАЯ ПОДДЕРЖКА ПРИНЯТИЯ РЕШЕНИЙ ПРИ ПРОВЕДЕНИИ ТЕХНОЛОГИЧЕСКОЙ НАЛАДКИ И ОБСЛУЖИВАНИИ ВЕРТИКАЛЬНО - ФРЕЗЕРНЫХ ОБРАБАТЫВАЮЩИХ ЦЕНТРОВ

В.А. Немтинов, В.А. Парсков

*Тамбовский государственный технический университет,
Российская Федерация, Тамбов, parskov@list.ru*

Аннотация. В работе рассмотрены вопросы информационной модели поддержки принятия решений при проведении технологической наладки и обслуживания вертикально-фрезерных обрабатывающих центров с ЧПУ перед началом и в ходе выполнения технологических операций, а также разработана информационно-логическая модель поддержки принятия решений.

Ключевые слова: информационная поддержка; принятие решений; технологическая наладка и обслуживание; вертикально-фрезерный обрабатывающий центр с ЧПУ Challenger MCV-2418.

INFORMATION SUPPORT FOR DECISION-MAKING DURING TECHNOLOGICAL ADJUSTMENT AND MAINTENANCE OF VERTICAL MILLING MACHINING CENTERS

V.A. Nemtinov, V.A. Parskov

*Tambov State Technical University,
Russian Federation, Tambov, parskov@list.ru*

The summary. Issues of information model of decision support during process adjustment and maintenance of vertical milling machining centers with CNC before and during process operations, as well as information and logical model of decision support are considered in the work.

Keywords: information support; decision-making; process adjustment and maintenance; vertical milling machining center with NC Challenger MCV-2418.

В настоящее время в машиностроении необходимо изготавливать большое количество различных деталей, на базе которых создаются механизмы и машины. Вертикально – фрезерные обрабатывающие центры – самые популярные среди всех станков. Они прекрасно справляются с обработкой различных типов инструментов. ЧПУ являются современными высокоавтоматизированными и высокопроизводительным технологическим оборудованием с широкими технологическими возможностями. С другой стороны, это сложное и дорогостоящее технологическое оборудование, требующее тщательного анализа и особого обращения с ним в процессе эксплуатации.

Для каждого станочного оборудования характерно ухудшение технических параметров в процессе эксплуатации, что выражается в естественном изменении геометрии, как таковой, то есть детали станка, подвергаясь механическим и эрозионным воздействиям, в течение времени меняются в размерах. В результате чего параллельность конструкции нарушаются, что, безусловно сказывается на жесткости станка в целом и приводит к поломке станка.

Следует отметить, что какое бы совершенное станочное оборудование не выпускалось, операции по его регулировке, настройке и контролю за технологическими параметрами будут присутствовать всегда. Это связано и с износом рабочих органов, и различием технологий изготовления деталей. Поэтому специалистам по техническому обслуживанию нужны глубокие знания не только по конструкции, теории производственных процессов в токарных станках, но и умение выполнять регулировку и настройку в зависимости от свойств и состояния обрабатываемого материала, технического состояния, износа деталей, узлов и механизмов [1].

В работе рассмотрены вопросы разработки информационно-логической модели (ИЛМ) поддержки принятия решений при проведении технологического обслуживания и наладки вертикально-фрезерных обрабатывающих центров перед началом и в ходе выполнения технологических операций.

Разработка информационно логической модели поддержки принятия решений

Основным элементом системы поддержки принятия решения при проведении технологического обслуживания фрезерного оборудования перед началом и в ходе выполнения технологических операций является информационно-логическая модель (ИЛМ). В общем виде ИЛМ поддержки принятия решений представляет собой объединение множеств данных и связей между ними в виде правил. Отдельное продукционное правило, содержащееся в базе знаний, состоит из двух частей [2 – 5]: условной, состоящей из элементарных предложений, соединенных логическими связками «и», «или», и заключения, включающего в себя одно или несколько предложений, выражающих либо некоторый факт, либо указание на определенное действие, подлежащее исполнению.

Таким образом, ИЛМ может быть представлена следующим кортежем

$$M = (d_1, \dots, d_i, \dots, d_N, p_1, \dots, p_j, \dots, p_S),$$

где: M – оператор ИЛМ;
 d_1, \dots, d_N – множество данных ИЛМ;
 p_1, \dots, p_S – множество правил.

В свою очередь правила, входящие в модель, построены по типу: если... «условия выполняются», то ... «реализация следствия».

Рассмотрим правила, на основе которых должны приниматься решения по формированию перечня мероприятий технологического обслуживания вертикально-фрезерных обра-

батывающих центров с ЧПУ перед началом и в ходе выполнения технологических операций. Они собраны экспертами [6 – 9] и авторами в процессе контактов с операторами-наладчиками вертикально-фрезерных обрабатывающих центров.

Ниже приведен пример правил применительно к вертикально-фрезерным обрабатывающим центрам с ЧПУ на примере станка Challenger MCV-2418 (рис. 1.):



Рис. 1. Общий вид вертикально-фрезерного обрабатывающего центра с ЧПУ Challenger MCV-2418.

а) Правила выбора мероприятий при устранении брака при работе на вертикально-фрезерном обрабатывающем центре с ЧПУ Challenger MCV-2418:

– если «брак при растачивании отверстий» = «часть поверхности отверстия осталась необработанной», то «неверные размеры заготовки» = «осматривать заготовку и проверять сомнительные размеры»;

– если «брак при растачивании отверстий» = «часть поверхности отверстия осталась необработанной», то «неправильная установка заготовки» = «проверить правильность установки заготовки»;

– если «брак при растачивании отверстий» = «размеры расточенной поверхности неверны, то есть диаметр меньше нужного», то «неточная установка резца» = «проверить установку резца и повторно расточить до нужного диаметра»;

– если «брак при растачивании отверстий» = «расточенное отверстие получилась овальной», то «биение оправки» = «замена оправки»;

– если «брак при растачивании отверстий» = «расточенное отверстие получилась овальной», то «некорректные режимы резания» = «корректировка режимов резания»;

– если «брак при растачивании отверстий» = «расточенное отверстие получилась овальной», то «биение шпинделя» = «замена подшипников и шеек»;

– если «брак при растачивании отверстий» = «обработанная поверхность получилась нечистой», то «скололся резец» = «проверить резец, при необходимости переточить, заменить на новый»;

– если «брак при растачивании отверстий» = «обработанная поверхность получилась нечистой», то «большая подача резца» = «проверить правильность выбора подачи, провести чистовую обработку»;

– если «брак при подрезании торцов и уступов» = «неперпендикулярное расположение торца или уступа к оси детали», то «неправильная установка резца» = «проверка правильности установки резца»;

– если «брак при сверлении» = «увод сверла», то «отсутствие центровочного отверстия» = «проверить центровочное отверстие, при необходимости «прогнать» центровочное сверло»;

– если «брак при сверлении» = «увод сверла», то «биение сверла» = «проверка цанги на дефект, при необходимости замена цанги»;

– если «брак при сверлении» = «увод сверла», то «биение сверла» = «замена оправки на более мощную»;

– если «брак при сверлении» = «увод сверла», то «неправильно заточенное сверло» = «предварительная проверка заточки сверла шаблонами, при необходимости заточить сверло»;

– если «брак при сверлении» = «увод сверла при сверлении металла, который имеет раковины или содержит твердые включения», то «необходимо уменьшить подачу»;

– если «брак при фрезеровании» = «расфрезерованное отверстие получилось овальным», то «биение фрезы» = «проверка цанги на дефект, замена цанги»;

– если «брак при фрезеровании» = «расфрезерованное отверстие получилось овальным», то «биение фрезы» = «заменить оправку»;

– если «брак при фрезеровании» = «фрезерованная поверхность имеет наплыв металла», то «затупилась фреза» = «заточить фрезу»;

– если «брак при фрезеровании» = «фрезерованная поверхность имеет наплыв металла», то «затупилась фреза» = «поставить новую фрезу»;

– если «брак при фрезеровании» = «фрезерованная поверхность имеет неверные размеры», то «неверная привязка нулей в системе координат» = «проверить привязку, при необходимости перепривязаться»;

– если «брак при фрезеровании» = «фрезерованная поверхность имеет неверные размеры», то «неверная привязка инструмента» = «проверить привязку, при необходимости перепривязаться»;

– если «брак при фрезеровании» = «фрезерованная поверхность имеет неверные размеры», то «неверная привязка инструмента» = «проверить привязку инструмента»;

– если «брак при фрезеровании» = «фрезерованная поверхность имеет неверные размеры», то «неверное значение корректора инструмента» = «проверить корректор инструмента»;

– если «брак при фрезеровании» = «фрезерованная поверхность имеет неверные размеры», то «проверить «базу» на наличие стружки» = «продуть «базу» от стружки».

б) *Правила выбора мероприятий при неисправностях на вертикально-фрезерном обрабатывающем центре с ЧПУ Challenger MCV-2418:*

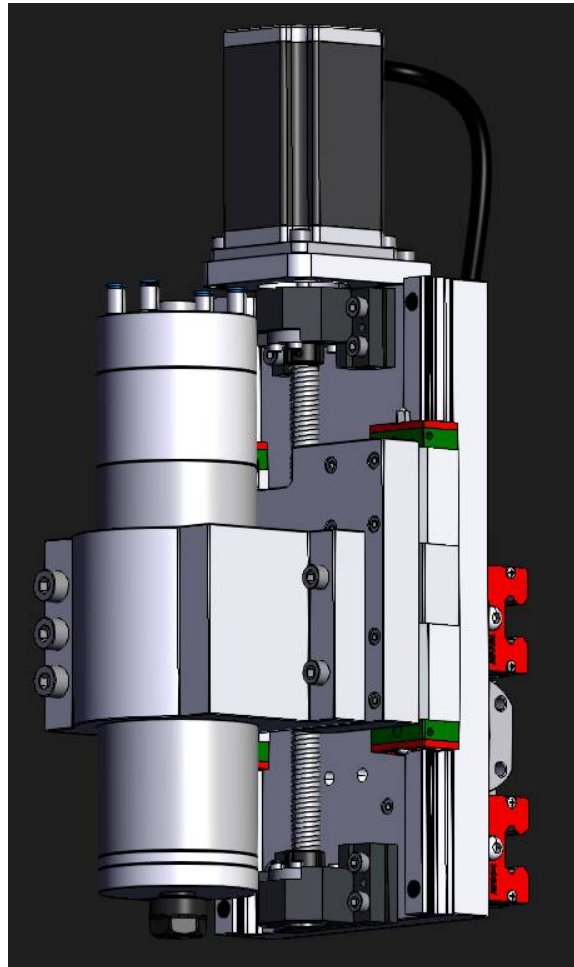


Рис. 2. Модель шпинделя.

– если «неисправность шпинделя (рис. 2)» = «повышенное радиальное биение», то «изогнутость рабочего вала» = «правка вала шпинделя»;

– если «неисправность шпинделя» = «повышенное радиальное биение», то «недостаточная затяжка подшипников, зазоры» = «регулировка подшипников, подтяжка гайки затяжки подшипников»;

– если «неисправность шпинделя» = «шум в верхнем подшипнике», то «диагностика подшипника» = «промывка подшипника от грязи с заменой смазки или замена подшипника»;

– если «неисправность винта ШВП (рис.3)» = «незначительное ухудшение системы позиционирования», то «износ винта ШВП» = «компенсация осей станка»;

– если «неисправность винта ШВП» = «серьёзное ухудшение системы позиционирования», то «износ винта ШВП» = «замена винта ШВП»;

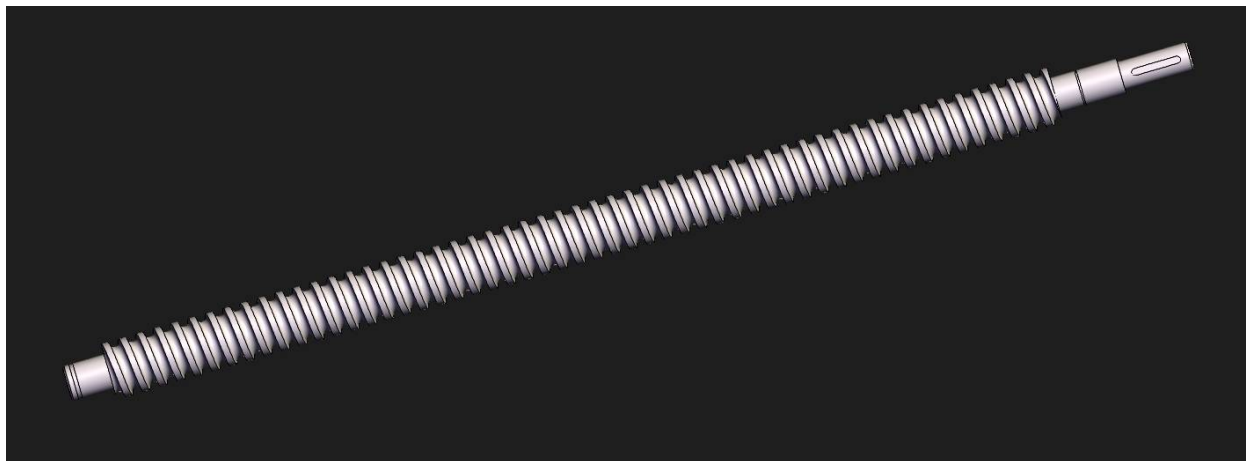


Рис. 3. Модель винта шарико-винтовой пары (ШВП).

– если «неисправность гайки ШВП» = «незначительное ухудшение системы позиционирования», то «износ шарикоподшипников» = «компенсация осей станка»;

– если «неисправность гайки ШВП» = «серьёзное ухудшение системы позиционирования», то «диагностика шарикоподшипников» = «промывка шарикоподшипников с заменой смазки или замена шарикоподшипников»;

– если «неисправность станка» = «станок вибрирует», то «неправильная установка станка на фундаменте» = «выверить станок»;

– если «неисправность станка» = «станок вибрирует», то «износ стыка направляющих суппорта» = «подтянуть прижимные планки и клинья».

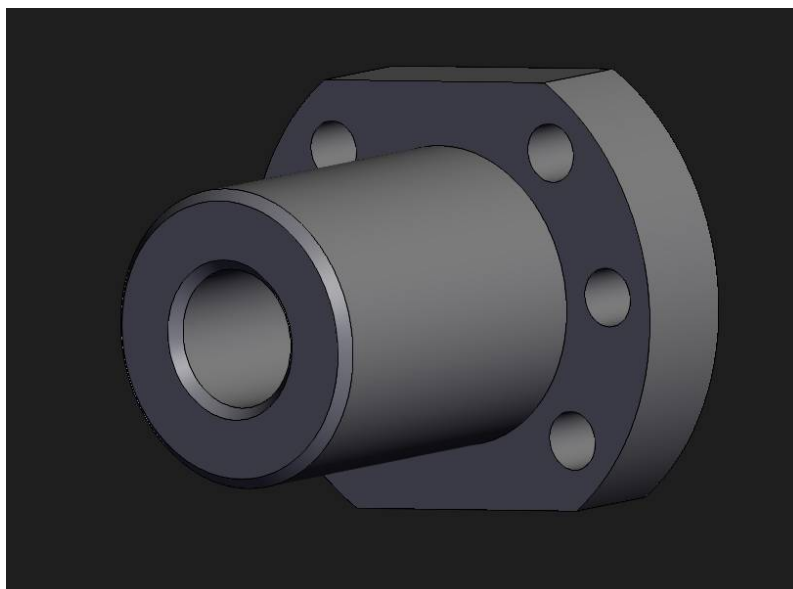


Рис. 4. Модель гайки шарико-винтовой пары (ШВП).

В результате проведенных исследований разработана информационно-логическая модель поддержки принятых решений при проведении обслуживания фрезерного оборудования перед началом и в ходе выполнения технологических операций, позволяющая в зависимости от текущего состояния узлов и деталей станка и заданных требований к изготовлению деталей предложить оптимальный вариант мероприятий. Ее апробация, выполненная при обслуживании вертикально-фрезерных обрабатывающих центров с ЧПУ, способствовала повыше-

нию эффективности производства: высокому качеству готовой детали, уменьшению брака до 5 %; увеличению сменной производительности на 15 – 17 %; сокращению простоев по техническим причинам до 10 %.

Библиографический список

1. Немтинов, В. А. Информационная поддержка принятия решений при проведении технологического обслуживания токарных станков / В. А. Немтинов, В. Ю. Бобылев, Ю. В. Немтинова, А. Б. Борисенко // Вестн. Тамб. гос. техн. ун-та. – 2020. – Т. 26, №2. – С. 220 – 229. doi: 10.17277/vestnik.2020.02.pp.220-229.
2. Nemtinov, V. Automation of the Early Stages of Plating Lines Design / V. Nemtinov, N. Bolshakov, Yu. Nemtinova // MATEC Web of Conferences :International Conference on Modern Trends in Manufacturing Technologies and Equipment (ICMTMTE 2017), 11 – 15 September, 2017, Sevastopol. – 2017. – Vol. 129. – P. 01012.
3. Решение проблемы оптимального синтеза технологических процессов сложных систем / Е. Н. Малыгин, В. А. Немтинов, Ж. Е. Зимнухова, Ю. В. Немтинова // Вестн. Тамб. ун-та. Серия: Естественные и технические науки. – 2002. – Т. 7, № 2. – С. 242 – 245.
4. Рыбина, Г. В. Применение интеллектуального анализа данных для построения баз знаний интегрированных экспертных систем / Г. В. Рыбина // Авиакосмическое приборостроение. – 2012. – № 11. – С. 36 – 53.
5. Мокрозуб, В. Г. Постановка задачи разработки математического и информационного обеспечения процесса проектирования многоассортиментных химических производств / В. Г. Мокрозуб, Е. Н. Малыгин, С. В. Карпушкин // Вестн. Тамб. гос. техн. ун-та. – 2017. – Т. 23, № 2. – С. 252 – 264. doi: 10.17277/vestnik.2017.02.pp.252-264
6. Мокрозуб, В. Г. Информационно-логические модели технических объектов и их представление в информационных системах / В. Г. Мокрозуб, В. А. Немтинов, С. Я. Егоров // Информационные технологии в проектировании и производстве. – 2010. – № 3. – С. 68 – 73.
7. Мокрозуб, В. Г. Системный анализ процессов принятия решений при разработке технологического оборудования / В. Г. Мокрозуб, Е. Н. Малыгин, С. В. Карпушкин // Вестн. Тамб. гос. техн. ун-та. – 2017. – Т. 23, № 3. – С. 364 – 373. doi: 10.17277/vestnik.2017.03.pp.364-373
8. Краснянский, М. Н. Математическое моделирование адаптивной системы управления профессиональным образованием / М. Н. Краснянский, А. И. Попов, А. Д. Обухов // Вестн. Тамб. гос. техн. ун-та. – 2017. – Т. 23, № 2. – С. 196 – 208. doi: 10.17277/vestnik.2017.02.pp.196-208
9. Nemtinov, K. Rationale Construction of Individual Elements of Technological Complex / K. Nemtinov, A. Eruslanov, Yu. Nemtinova // MATEC Web of Conferences :International Conference on Modern Trends in Manufacturing Technologies and Equipment (ICMTMTE 2018), 10 – 14 September, 2018, Sevastopol. – 2018. – Vol. 224. – P. 02036

УДК 681.51; ГРНТИ 50.43

ДЕЦЕНТРАЛИЗОВАННОЕ КОМБИНИРОВАННОЕ УПРАВЛЕНИЕ МНОГОСВЯЗНЫМ СТРУКТУРНО НЕОПРЕДЕЛЕННЫМ ОБЪЕКТОМ С ПЕРЕКЛЮЧЕНИЯМИ

С.А. Смирнова

*Амурский государственный университет,
Российская Федерация, Благовещенск, sofya-books-1999@mail.ru*

Аннотация. В рамках данной статьи рассматривается задача децентрализованного управления многосвязным объектом. Предлагается структура и алгоритм комбинированного регулятора, который обеспечивает высокое качество управления локальными взаимосвязанными подсистемами, с учетом их многорежимности и структурно-параметрической неопределенности. Для построения данного регулятора используется критерий гиперустойчивости, условия L-диссипативности и быстродействующие фильтр-корректоры.

Ключевые слова: многосвязный объект, система с переключениями, априорная неопределенность, задающий и выходной фильтр-корректор, неявный эталон, децентрализованное управление, комбинированное управление, критерий гиперустойчивости, условия L-диссипативности.

DECENTRALIZED COMBINED CONTROL OF A MULTICALLY CONNECTED STRUCTURALLY UNDETERMINATE OBJECT WITH SWITCHES

S.A. Smirnova

Amur State University,

Russian Federation, Blagoveshchensk, sofya-books-1999@mail.ru

The summary. Within the framework of this article, the problem of decentralized control of a multiply connected object is considered. The structure and algorithm of the combined controller is proposed, which provides high quality control of local interconnected subsystems, taking into account their multi-mode and structural-parametric uncertainty. This controller is constructed using the hyperstability criterion, L-dissipativity conditions, and high-speed filter-correctors.

Keywords: multi-connected object, switching system, priority uncertainty, input and output filter-corrector, implicit standard, decentralized control, combined control, hyperstability criterion, L-dissipativity conditions.

Перед разработчиками современных автоматических систем возникают задачи аналитического конструирования, исследования систем управления сложными многосвязными объектами [1, 2], к ним относится подавляющее большинство химико-технологических, энергетических и т.д. процессов. Данный класс объектов характеризуется наличием множества входных управляющих сигналов, регулирующих изменение нескольких выходных параметров. Объект управления в статье представляется в виде совокупности локальных подсистем, с учетом действия на них нелинейных перекрестных связей. Для управления которым предлагается использовать схемы децентрализованного управления (см. рис. 1), вырабатывающие управляющее воздействие для каждой подсистемы, как это было показано в работе [1].

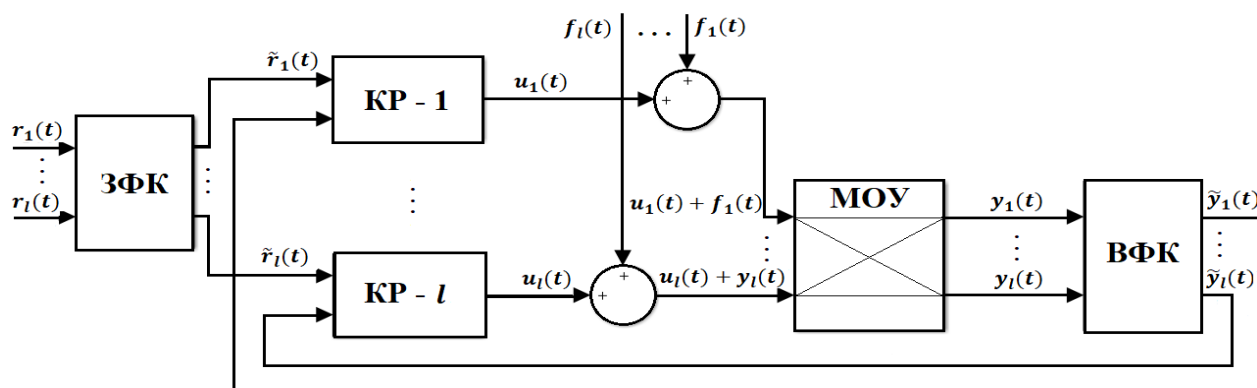


Рис. 1. Функциональная схема системы децентрализованного комбинированного управления, где МОУ – многосвязный объект управления; КР – контур регулирования; ЗФК и ВФК – задающий и выходной фильтр-корректоры

Сложность управления многосвязным объектом возрастает за счет влияния структурно-параметрической неопределенности, действия внешних неконтролируемых помех, невозможности измерения внутренних состояний объекта, а также многорежимности. При таких условиях система управления должна обеспечивать устойчивость и желаемое качество управления, как динамическим объектам в целом, так и его сепаратными подсистемами на всех режимах функционирования.

В настоящей статье с использованием результатов работ [1 – 3] синтезируется децентрализованное комбинированное управление для многосвязного, многорежимного объекта, функционирующего в условиях структурно-параметрической неопределенности.

Математическое описание системы управления

Пусть многосвязный динамический объект представляется в виде l – взаимосвязанных подсистем, динамика которых поэтапно изменяется на промежутках времени $0 = t_0 < t_{1_i} < \dots < t_{K_i}$ ($i = 1, 2, \dots, l$) и описывается составными системами уравнений в пространстве состояний:

$$\frac{dx_i^{(k)}(t)}{dt} = A_i^{(k)} x_i^{(k)}(t) + B_{0i} (u_i^{(k)}(t) + f_i^{(k)}(t) + Y_i^{(k)}(t)), y_i^{(k)}(t) = g_i^{(k)T} x_i^{(k)}(t), x_{0i} = x_i^{(k)}(0), \quad (1)$$

где $k_i = 1, 2, \dots, K_i$ – ограниченное количество интервалов времени $T_{k_i} = (t_{k_i} - t_{k_i-1})$ i -й подсистемы;

$$A_i^{(k)} = \begin{pmatrix} 0 & 1 & 0 & \dots & 0 \\ 0 & 0 & 1 & \dots & 0 \\ \dots & \dots & \dots & \dots & \dots \\ a_{1i}^{(k)} & a_{2i}^{(k)} & a_{3i}^{(k)} & \dots & a_{(n_i) i}^{(k)} \end{pmatrix} - \text{матрицы состояний размера } n_i \times n_i;$$

$$B_{0i} = [0 \quad 0 \quad \dots \quad 1]^T - \text{векторы размерности } n_i \times 1;$$

$$g_i^{(k)} = [g_{0i}^{(k)} \quad g_{1i}^{(k)} \quad \dots \quad g_{(m_i) i}^{(k)} \quad 0 \quad \dots \quad 0]^T - \text{векторы выхода размерности } n_i \times 1;$$

$f_i^{(k)}(t)$ – внешние помехи;

$$Y_i^{(k)}(t) = \sum_{j=1}^l \phi_{ji}(y_j^{(k)}(t)), j = 1, 2, \dots, l, i \neq j;$$

$\phi_{ji}(y_j^{(k)}(t)) \in R$ – сигнал перекрестной связи, действующей на i -ю подсистему со стороны j -й;

$$x_i^{(k)}(t) = [x_{1i}^{(k)}(t) \quad x_{2i}^{(k)}(t) \quad \dots \quad x_{(n_i) i}^{(k)}(t)]^T, u_i^{(k)}(t), y_i^{(k)}(t) - \text{вектор переменных состояния,}$$

скалярное управляющее воздействие и выход каждой i -й локальной подсистемы объекта.

Предполагается, что динамический МОУ (1) функционирует при условии выполнения следующих допущений:

Д1: Неизвестные скалярные функции $\phi_{ji}(y_j^{(k)}(t))$ и $f_i^{(k)}(t)$ – выходы нелинейных перекрестных связей и внешние помехи, удовлетворяют условиям:

$$\phi_{ji}(y_j^{(k)}(t)) \leq \phi_{ji}^+ = \text{const} > 0, \forall y_j^{(k)}(t) \neq 0, \phi_{ji}(0) = 0; |f_i^{(k)}(t)| \leq f_i^+ = \text{const}, \forall t \geq 0; \quad (2)$$

где ϕ_{ji}^+ и f_i^+ – неизвестные числа;

Д2: Передаточные функции МОУ линейных звеньев имеют вид:

$$W_i^{(k)}(p) = \frac{g_i^{(k)}(p)}{a_i^{(k)}(p)}, \quad (3)$$

где $g_i^{(k)}(p) = g_{0i}^{(k)} + g_{1i}^{(k)} p + \dots + g_{m_i^{(k)}}^{(k)} p^{m_i^{(k)}}$ – гурвицевы полиномы;

$a_i^{(k)}(p) = a_{0i}^{(k)} + a_{1i}^{(k)} p + \dots + a_{n_i}^{(k)} p^{n_i}$ – полиномы с произвольным расположением корней;

$m_i^{(k)}$ – показатель, который на временных интервалах T_{k_i} может принимать любое значение в диапазоне $0 \leq m_{0i} \leq m_i^{(k)} \leq n_i - 1$, причем известны значения m_{0i} и n_i ;

$\rho_i^{(k)} = (\deg a_i^{(k)}(p) - \deg g_i^{(k)}(p)) = (n_i - m_i^{(k)}) \geq 1$ – неизвестные значения относительной степени $W_i^{(k)}(p)$;

$\rho_i^+ = (n_i - m_{0i})$ – значения максимума относительных степеней $W_i^{(k)}(p)$ для каждой локальной подсистемы (1);

$p = \frac{d}{dt}$ – оператор дифференцирования.

ДЗ: Непосредственному измерению доступны локальные выходные сигналы $y_i^{(k)}(t)$.

Поскольку, согласно **Д2**, значения относительных степеней $\rho_i^{(k)} \in [1; \rho_i^+]$, целесообразно подключить к каждому локальному выходу $y_i^{(k)}(t)$ МОУ (1) выходной фильтр-корректор (ВФК) [2, 3], для задания желаемой динамики каждой подсистемы:

$$y_{\phi i}^{(k)}(s) = W_{ВФК i}(s) y_i^{(k)}(s) = \frac{\mathcal{G}_i(s)}{\mathcal{G}_{*i}(s)} y_i^{(k)}(s) = \frac{(T_i s + 1)^{n_i - m_{0i} - 1}}{(T_{*i} s + 1)^{n_i - m_{0i} - 1}} y_i^{(k)}(s), \quad (4)$$

где s – комплексная переменная;

$y_{\phi i}^{(k)}(s)$ и $y_i^{(k)}(s)$ – выходные и входные сигналы ВФК;

$W_{ВФК i}$ – передаточные функции ВФК;

T_{*i} и T_i – постоянные времена, причем T_{*i} [4] принимают достаточно малые значения;

$\mathcal{G}_i(s)$ и $\mathcal{G}_{*i}(s)$ – гурвицевы полиномы.

Тогда с учетом (4) будет иметь место следующая цепочка неравенств:

$$\begin{aligned} \hat{W}_i^{(k)}(s) &= W_i^{(k)}(s) \cdot W_{ВФК i}(s) = \frac{g_i^{(k)}(s)}{a_i^{(k)}(s)} \cdot \frac{(T_i s + 1)^{n_i - m_{0i} - 1}}{(T_{*i} s + 1)^{n_i - m_{0i} - 1}} = \frac{g_i^{(k)}(s)(T_i s + 1)^{n_i - m_{0i} - 1}}{a_i^{(k)}(s)(T_{*i} s + 1)^{m_i^{(k)} - m_{0i}}} \\ &\cdot \frac{1}{(T_{*i} s + 1)^{n_i - m_i^{(k)} - 1}} = \frac{\tilde{g}_i^{(k)}(s)}{\tilde{a}_i^{(k)}(s)} \frac{1}{(T_{*i} s + 1)^{n_i - m_i^{(k)} - 1}} = \tilde{W}_i^{(k)}(s) \cdot W_{БСВ i}^{(k)}(s), \end{aligned} \quad (5)$$

где $\tilde{g}_i^{(k)}(s) = g_i^{(k)}(s)(T_i s + 1)^{n_i - m_{0i} - 1}$ – полиномы со степенями $\deg \tilde{g}_i^{(k)}(s) = n_i + m_i^{(k)} - m_{0i} - 1 = \rho_i^+ + m_i^{(k)} - 1$;

$\tilde{a}_i^{(k)}(s) = a_i^{(k)}(s)(T_{*i} s + 1)^{m_i^{(k)} - m_{0i}}$ – полиномы со степенями $\deg \tilde{a}_i^{(k)}(s) = n_i + m_i^{(k)} - m_{0i} = \rho_i^+ + m_i^{(k)}$;

$\tilde{W}_i^{(k)}(s), W_{БСВ i}^{(k)}(s)$ – передаточные функции видоизмененных подсистем ОУ и блоков структурного возмущения (БСВ).

При этом в силу малых значений T_{*i} цепочка (5) преобразуется к виду $\hat{W}_i^{(k)}(s) \cong \tilde{W}_i^{(k)}(s)$, где относительные степени передаточных функции видоизмененных подсистем МОУ имеют фиксированные значения $\rho_i^{(k)} = 1$. Если теперь представить данные подсистемы в пространстве состояний, получим следующие уравнения:

$$\frac{d\tilde{x}_i^{(k)}(t)}{dt} = \tilde{A}_i^{(k)} \tilde{x}_i^{(k)}(t) + \tilde{B}_{0i} \left(u_i^{(k)}(t) + f_i^{(k)}(t) + Y_i^{(k)}(t) \right), \quad \tilde{y}_i^{(k)}(t) = \tilde{g}_i^{(k)T} \tilde{x}_i^{(k)}(t), \quad \tilde{x}_{0i} = \tilde{x}_i^{(k)}(0), \quad (6)$$

где $\tilde{x}_i^{(k)}(t) = \left[\tilde{x}_{1i}^{(k)}(t) \quad \tilde{x}_{2i}^{(k)}(t) \quad \dots \quad \tilde{x}_{\left(\rho_i^+ + m_i^{(k)}\right)_i}^{(k)}(t) \right]^T$ – векторы переменных состояния;

$\tilde{y}_i^{(k)}(t)$ – скалярные выходы видоизмененных подсистем МОУ;

$$\tilde{A}_i^{(k)} = \begin{pmatrix} 0 & 1 & 0 & \dots & 0 \\ 0 & 0 & 1 & \dots & 0 \\ \dots & \dots & \dots & \dots & \dots \\ \tilde{a}_{1i}^{(k)} & \tilde{a}_{2i}^{(k)} & \tilde{a}_{3i}^{(k)} & \dots & \tilde{a}_{(\rho_i^+ + m_i^{(k)})i}^{(k)} \end{pmatrix} - \text{матрицы состояний размера } (\rho_i^+ + m_i^{(k)}) \times (\rho_i^+ + m_i^{(k)});$$

$$\tilde{B}_{0i} = [0 \quad 0 \quad \dots \quad 1]^T - \text{векторы размерности } 1 \times (\rho_i^+ + m_i^{(k)});$$

$$\tilde{g}_i^{(k)} = [\tilde{g}_{0i}^{(k)} \quad \tilde{g}_{1i}^{(k)} \quad \dots \quad \tilde{g}_{(\rho_i^+ + m_i^{(k)})-1i}^{(k)}]^T - \text{векторы выхода размерности } 1 \times (\rho_i^+ + m_i^{(k)}).$$

Неявная эталонная модель

Требуемый характер изменения выходов $\tilde{y}_i^{(k)}(t)$ МОУ (6) сформируем с помощью задающих фильтр-корректоров (ЗФК), аналогичных ВФК (4):

$$\tilde{r}_i(s) = W_{3\Phi Ki}(s) r_i(s) = \frac{\mathcal{G}_i(s)}{\mathcal{G}_{*i}(s)} r_i(s), \quad (7)$$

где $W_{3\Phi Ki}$ – передаточные функции ЗФК.

Отметим, что видоизмененный МОУ (6) представлен составными системами уравнений в пространстве состояний, аналогично этому модель неявного эталона (НЭМ) для каждой подсистемы запишется в виде:

$$\frac{d\tilde{x}_{mi}^{(k)}(t)}{dt} = \tilde{A}_{mi}^{(k)} \tilde{x}_{mi}^{(k)}(t) + \tilde{\chi}_{*i}^{(k)} \tilde{B}_{0i}^{(k)} \tilde{r}_i(t), \quad \tilde{y}_{mi}^{(k)}(t) = \tilde{g}_i^{(k)T} \tilde{x}_{mi}^{(k)}(t), \quad (8)$$

где $\tilde{x}_{mi}^{(k)}(t) = [\tilde{x}_{1mi}^{(k)}(t) \quad \tilde{x}_{2mi}^{(k)}(t) \quad \dots \quad \tilde{x}_{(\rho_i^+ + m_i^{(k)})mi}^{(k)}(t)]^T$ – 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;

$\tilde{y}_{mi}^{(k)}(t)$ – выходы НЭМ.

Затем, если представить выходные переменные данной системы в операторной форме, а коэффициенты $\chi_{*i}^{(k)} \gg 1, (\chi_{*i}^{(k)})^{-1} \cong 0$, аналогично статьям [2, 3], получим запись вида:

$$\tilde{y}_{mi}^{(k)}(t) = \frac{\chi_{*i}^{(k)}}{p + \chi_{*i}^{(k)}} \tilde{r}_i(t) = \frac{1}{(\chi_{*i}^{(k)})^{-1} p + 1} \tilde{r}_i(t) \cong \tilde{r}_i(t). \quad (9)$$

Постановка задачи: Для МОУ (1), который функционирует в условиях априорной неопределенности, необходимо синтезировать комбинированный закон управления для каждой локальной подсистемы $u_i^{(k)}(t) = u(\tilde{y}_i^{(k)}(t), \tilde{r}_i(t))$, такой, чтобы при любых начальных условиях, ограниченных помехах, измерении только регулируемого выхода $y_i^{(k)}(t)$, наличии перекрестных связей (2) и переключений, было возможно при $t \rightarrow \infty$ выполнение вспомогательной цели управления:

$$|\tilde{y}_{mi}^{(k)}(t) - \tilde{y}_i^{(k)}(t)| \cong |\tilde{r}_i(t) - \tilde{y}_i^{(k)}(t)| \leq \delta_{0i} = const, \quad (10)$$

где δ_{0i} – максимально допустимая ошибка, которая состоит в качественной обработке заданных сигналов. Тогда в силу выполнения соотношений (9), (10) и эквивалентности ЗФК (7) и ВФК (4) будет обеспечиваться выполнение целевых неравенств:

$$|r_i(t) - y_i^{(k)}(t)| \leq \delta_{0i} = const, \text{ при } t \rightarrow \infty, \quad (11)$$

Разработка комбинированного закона управления

Пусть для каждой локальной подсистемы рассматриваемого МОУ синтез комбинированных законов управления будет осуществляться на основе критерия гиперустойчивости, аналогично работам [1 – 3]. Тогда, следуя данной методике, рассмотрим сигнал рассогласования $e_i^{(k)}(t) = \tilde{x}_{mi}^{(k)}(t) - \tilde{y}_i^{(k)}(t)$ переменных состояния видоизмененных подсистем МОУ (6) и их НЭМ (8) в виде системы:

$$\begin{aligned} \frac{de_i^{(k)}(t)}{dt} &= \frac{d\tilde{x}_{mi}^{(k)}(t)}{dt} - \frac{d\tilde{y}_i^{(k)}(t)}{dt} = \tilde{A}_{mi}^{(k)} e_i^{(k)}(t) + \tilde{B}_{0i}^{(k)} \mu_i^{(k)}(t) \\ v_i^{(k)}(t) &= \tilde{y}_{mi}^{(k)}(t) - \tilde{y}_i^{(k)}(t) = (\tilde{g}_i^{(k)})^T e_i^{(k)}(t), \\ \mu_i^{(k)}(t) &= \chi_{*i}^{(k)} \tilde{y}_i^{(k)}(t) - u_i^{(k)}(t) - f_i^{(k)}(t) - Y_i^{(k)}(t) + \tilde{\chi}_{*i}^{(k)} \tilde{r}_i(t), \end{aligned} \quad (12)$$

где $\mu_i^{(k)}(t), v_i^{(k)}(t)$ – видоизмененные регулируемые управления и выходы.

В рамках критерия гиперустойчивости также необходимо обеспечить выполнение положительности линейной части системы (12) и интегрального неравенства В.М. Попова:

$$\text{Re} \left[(\tilde{g}_i^{(k)})^T (Ej\omega - \tilde{A}_{mi}^{(k)})^{-1} \tilde{B}_{0i}^{(k)} \right] > 0, \forall \omega \geq 0; h_i^{(k)}(0, t) = - \int_0^t \mu_i^{(k)}(v) v_i^{(k)}(v) dv > - (h_{0i}^{(k)})^2 = const, t > 0. \quad (13)$$

Очевидность требований *первого неравенства* (13), касающегося обеспечения вещественности и положительности ЛСЧ (12), вытекает из явного вида ее передаточной функции $W_{ei}^{(k)}(s) = \frac{1}{(\chi_{*i}^{(k)})^{-1} s + 1}$, эквивалентной передаточной функции аperiodического звена 1-го порядка.

Остается лишь выполнение *второго неравенства*. С этой целью, по аналогии со статьями [2, 3], закон управления для каждой подсистемы МОУ представится в виде:

$$\begin{aligned} u_i^{(k)}(t) &= \sum_{j=1}^3 u_{ji}^{(k)}(t) = h_{11i} \tilde{r}_i(t) \int_0^t \tilde{r}_i(v) v_i^{(k)}(v) dv + h_{12i} (\tilde{r}_i(t))^2 v_i^{(k)}(t) + h_{21i} \int_0^t v_i^{(k)}(v) dv + \\ &+ h_{22i} v_i^{(k)}(t) + h_{31i} \tilde{y}_{i\text{sat}}^{(k)}(t) \int_0^t \tilde{y}_i^{(k)}(v) v_i^{(k)}(v) dv + h_{32i} (\tilde{y}_{i\text{sat}}^{(k)}(t))^2 v_i^{(k)}(t), \\ v_i^{(k)}(t) &= \tilde{r}_i(t) - \tilde{y}_{i\text{sat}}^{(k)}(t), \\ \tilde{y}_{i\text{sat}}^{(k)}(t) &= \text{sat}(\tilde{y}_i^{(k)}(t)) = \begin{cases} -\Delta_i & \text{при } \tilde{y}_i^{(k)}(t) \leq -\Delta_i \\ \tilde{y}_i^{(k)}(t) & \text{при } |\tilde{y}_i^{(k)}(t)| < \Delta_i \\ \Delta_i & \text{при } \tilde{y}_i^{(k)}(t) \geq \Delta_i \end{cases} \end{aligned} \quad (14)$$

Где $h_{11i}, h_{12i}, h_{21i}, h_{22i}, h_{31i}, h_{32i}, \Delta_i = const > 0$, которое предусматривает возможное появление пиков в переходных процессах, отмечающихся в работе [5], за счет добавления нелинейности типа «насыщение» для выходных сигналов $\tilde{y}_i^{(k)}(t)$. В силу выполнения неравенств (13) на основе критерия гиперустойчивости можно утверждать, что система (12) гиперустойчива.

Кроме того, за счет выбора малых значений T_{*i} , согласно [6], этот закон гарантирует свойство L – диссипативности, как исходной, так и видоизмененной системы.

Пример имитационного моделирования

С целью анализа качества функционирования разработанной системы управления (1), (4), (7), (14) в условиях структурно-параметрической априорной неопределенности, проведем компьютерное моделирование МОУ (1), включающего три локальные подсистемы (табл. 1).

Таблица 1. Характеристики трех локальных подсистем

Первая подсистема ($i = 1$)		
Интервал времени	$0 \leq t < 80$	$80 \leq t$
Матрица состояний	$A_1^{(1)} = \begin{pmatrix} 0 & 1 & 0 \\ 0 & 0 & 1 \\ 3 & 0.5 & 1.2 \end{pmatrix}$	$A_1^{(2)} = \begin{pmatrix} 0 & 1 & 0 \\ 0 & 0 & 1 \\ 0.9 & -1.1 & 0.3 \end{pmatrix}$
Матрица выхода	$(g_1^{(1)})^T = [2 \quad 2 \quad 1.2]$	$(g_1^{(2)})^T = [2.5 \quad 1 \quad 0]$
Начальные условия	$(x_1^{(1)}(0))^T = [0.5 \quad 0.5 \quad 0.5]$	$x_1^{(2)}(80) = x_1^{(1)}(80)$
Внешнее возмущение	$f_1^{(1)}(t) = 0.6(\cos(0.3t))^2$	$f_1^{(2)}(t) = 0.7 \cos(0.2t) \sin(0.2t)$
Нелинейные перекрестные связи	$Y_1^{(k)}(t) = 1.1 \sin(y_2^{(k)}(t)) + 0.4 \sin(y_3^{(k)}(t))$	
Вторая подсистема ($i = 2$)		
Интервал времени	$0 \leq t < 100$	$100 \leq t$
Матрица состояний	$A_2^{(1)} = \begin{pmatrix} 0 & 1 & 0 \\ 0 & 0 & 1 \\ 2 & 1 & -1 \end{pmatrix}$	$A_2^{(2)} = \begin{pmatrix} 0 & 1 & 0 \\ 0 & 0 & 1 \\ 0.7 & 0.5 & 2 \end{pmatrix}$
Матрица выхода	$(g_2^{(1)})^T = [3 \quad 1 \quad 0]$	$(g_2^{(2)})^T = [1 \quad 0 \quad 0]$
Начальные условия	$(x_2^{(1)}(0))^T = [1 \quad 1 \quad 1]$	$x_2^{(2)}(100) = x_2^{(1)}(100)$
Внешнее возмущение	$f_2^{(1)}(t) = 0.1(\sin(0.8t))^2$	$f_2^{(2)}(t) = 0.4 \cos(0.1t) \sin(0.7t)$
Нелинейные перекрестные связи	$Y_2^{(k)}(t) = 2.2 \sin(y_1^{(k)}(t)) + 0.4 \sin(y_3^{(k)}(t))$	
Третья подсистема ($i = 3$)		
Интервал времени	$0 \leq t$	
Матрица состояний	$A_3^{(1)} = \begin{pmatrix} 0 & 1 & 0 \\ 0 & 0 & 1 \\ 2.5 & -1.5 & -1.4 \end{pmatrix}$	
Матрица выхода	$(g_3^{(1)})^T = [2 \quad 1.5 \quad 0]$	
Начальные условия	$(x_3^{(1)}(0))^T = [1 \quad 1 \quad 1]$	
Внешнее возмущение	$f_3^{(1)}(t) = 0.6 \sin(0.2t) \cdot \cos(0.5t)$	
Нелинейные перекрестные связи	$Y_3^{(k)}(t) = 1.3 \sin(y_1^{(k)}(t)) + 1.6 \sin(y_2^{(k)}(t))$	

Для которых необходимо записать ЗФК и ВФК, задающие воздействия и коэффициенты комбинированных регуляторов:

$$W_{3\Phi K1} = W_{B\Phi K1} = \frac{0.1s + 1}{0.005s + 1}, W_{3\Phi K2} = W_{B\Phi K2} = \left(\frac{0.1s + 1}{0.005s + 1} \right)^2, W_{3\Phi K3} = W_{B\Phi K3} = \frac{0.1s + 1}{0.005s + 1};$$

$$r_1(t) = 0.9 \sin(0.2t) - 0.7 \sin(0.7t), r_2(t) = 0.3 \sin(0.5t) + 0.5 \sin(0.8t) + 0.5 \sin(0.4t),$$

$$r_3(t) = 1.7 \sin(t) + 0.5 \sin(0.4t);$$

$$h_{11(1)} = 800, h_{12(1)} = 80, h_{21(1)} = 600, h_{22(1)} = 60, h_{31(1)} = 300, h_{32(1)} = 40, \Delta_1 = 10,$$

$$h_{11(2)} = 700, h_{12(2)} = 50, h_{21(2)} = 500, h_{22(2)} = 30, h_{31(2)} = 300, h_{32(2)} = 40, \Delta_2 = 10,$$

$$h_{11(3)} = 700, h_{12(3)} = 100, h_{21(3)} = 450, h_{22(3)} = 50, h_{31(3)} = 150, h_{32(3)} = 40, \Delta_3 = 10.$$

Результаты моделирования представлены на рисунках 2,3, где показана малая ошибка рассогласования $y_i^{(k)}(t) - r_i(t)$, не считая моментов переключений, когда возникали всплески, что свидетельствует о высокой точности обработки задающих воздействий $r_i(t)$ МОУ.

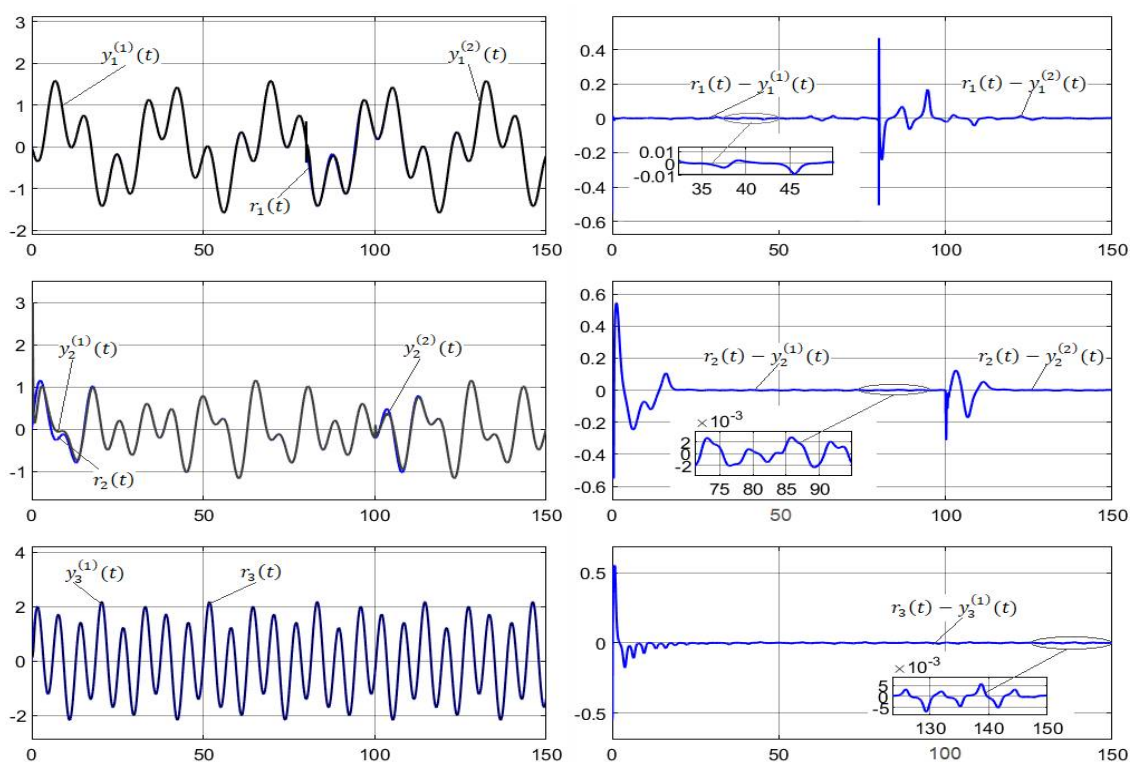


Рис. 2. Динамика задающих воздействий, выходных сигналов и отклонений

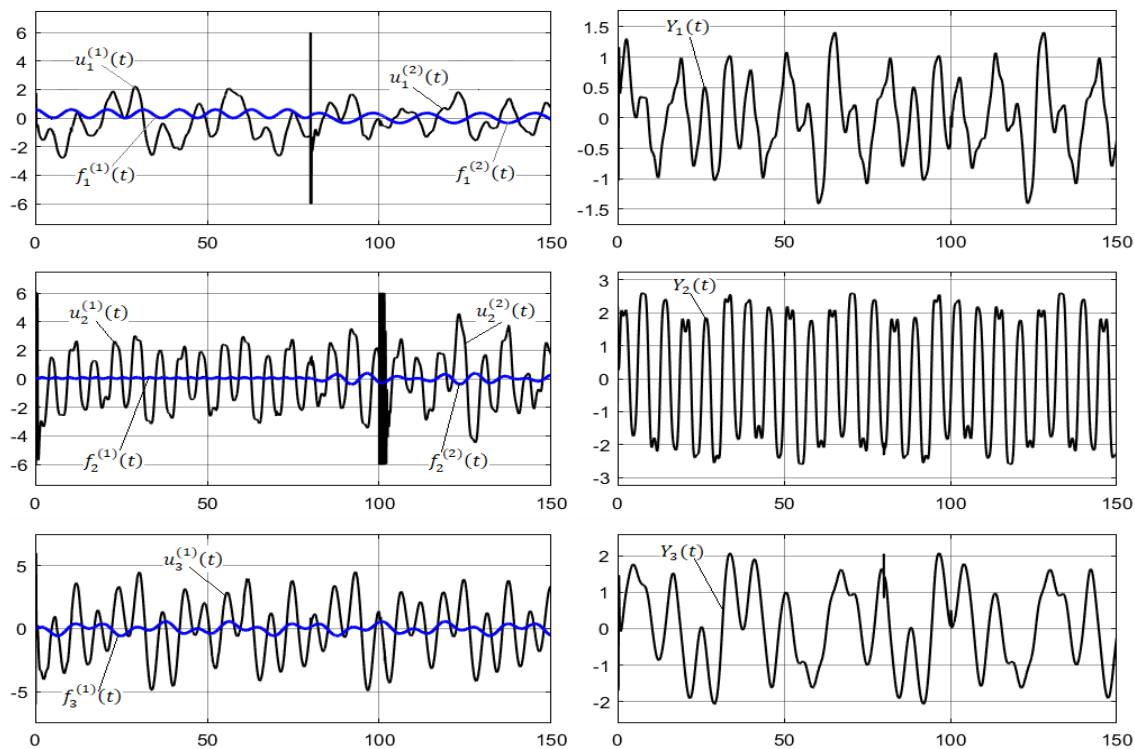


Рис. 3. Динамика возмущений, управляющих воздействий и перекрестных связей

Заключение

В результате математического и компьютерного моделирования многосвязного объекта с переключениями были достигнуты и графически представлены достаточно малые ошибки рассогласования между задающими воздействиями и выходами объекта. Математическая модель МОУ представляется в виде множества связанных подсистем, каждая из которых способна функционировать в условиях структурно-параметрической неопределенности.

Библиографические ссылки

1. Еремин Е.Л., Годяев А.И., Шеленок Е.А. Система децентрализованного нелинейно-периодического управления для одного класса неаффинных многосвязных объектов // Информатика и системы управления. - 2018. - № 4(58). - С. 129-140.
2. Еремин, Е. Л. Комбинированная нелинейная система управления с неявным эталоном для априорно неопределенного неаффинного двухканального объекта с запаздываниями по выходу / Е. Л. Еремин, Л. В. Никифорова, Е. А. Шеленок // Информатика и системы управления. – 2020. – № 1(63). – С. 95-108.
3. Смирнова, С. А. Комбинированная система управления по выходу линейным объектом с неизвестным относительным порядком / С. А. Смирнова // Информатика и системы управления. – 2021. – №1(67). – С. 114-125.
4. Фрадков, А. Л. Синтез адаптивной системы стабилизации линейного динамического объекта / А. Л. Фрадков // Автомат. и телемех. – 1974. – № 12. – С. 96-103.
5. Халил, Х. К. Нелинейные системы / пер. с англ. – М.: Ижевск: НИЦ «Регулярная и хаотическая динамика» – Институт компьютерных исследований. – 2009.
6. Еремин, Е. Л. L-диссипативность гиперустойчивой системы управления при структурном возмущении. III. / Е. Л. Еремин // Информатика и системы управления. – 2007. – № 2(14). – С. 153-164.

УДК 681.51; ГРНТИ 50.43

РАЗРАБОТКА КОМБИНИРОВАННОЙ СИСТЕМЫ УПРАВЛЕНИЯ НЕСТАЦИОНАРНЫМ МНОГОРЕЖИМНЫМ ОБЪЕКТОМ ПО ВЫХОДУ В СХЕМЕ С НЕЯВНЫМ ЭТАЛОНОМ

С.А. Смирнова

*Амурский государственный университет,
Российская федерация, Благовещенск, sofya-books-1999@mail.ru*

Аннотация. Исследована задача комбинированного управления априорно неопределенным нестационарным объектом с переключениями, управляющий контур которого строится по критерию гиперустойчивости и условиям L-диссипативности, с использованием в схеме с неявным эталоном двух фильтр-корректоров. Подчеркнуто, что измерению доступны только скалярный вход и выход системы, а не их производные, а на каждую из подсистем действуют ограниченные внешние помехи.

Ключевые слова: система с переключениями, неизвестный относительный порядок объекта, структурно -параметрическая неопределенность, ограниченная внешняя помеха, задающий и выходной фильтр-корректор, неявный эталон, комбинированное управление, критерий гиперустойчивости, условия L-диссипативности.

DEVELOPMENT OF A COMBINED CONTROL SYSTEM OF A NON-STATIONARY MULTI-MODE OBJECT AT THE OUTPUT IN A CIRCUIT WITH AN IMPLICIT STANDARD

S.A. Smirnova

*Amur State University,
Russian Federation, Blagoveshchensk, sofya-books-1999@mail.ru*

Abstract. The problem of combined control of an a priori undefined non-stationary object with switchings is investigated, the control loop of which is constructed according to the criterion of hyperstability and L-dissipativity conditions, using two filter correctors in a scheme with an implicit standard. It is emphasized that only the scalar input and output of the system, and not their derivatives, are available for measurement, and limited external interference acts on each of the subsystems.

Keywords: switched system, unknown relative order of the object, structural -parametric uncertainty, bounded external noise, master and output filter-corrector, implicit standard, combined control, criterion for hyperstability, L-dissipativity conditions.

Среди систем автоматического управления особое внимание уделяется описанию моделей переключающихся систем, в которых переключения происходят за счет влияния различных факторов внешней среды или изменения условий функционирования системы. В результате действия переключений не только параметры, но и структура динамической системы будут подвержены изменениям, что является главной особенностью данной работы, помимо этого, присутствуют и дополнительные характеристики, усложняющие процесс проектирования, к примеру, – нестационарность, действие внешних помех и недоступность фазовых координат прямому измерению.

В настоящей статье, опираясь на результаты [1 – 3], синтезируется комбинированный алгоритм управления нестационарным объектом на множестве состояний функционирования, действующий в условиях структурно-параметрической неопределенности и ограниченных внешних помехах. Функциональная схема рассматриваемой системы управления представлена на рисунке 1.

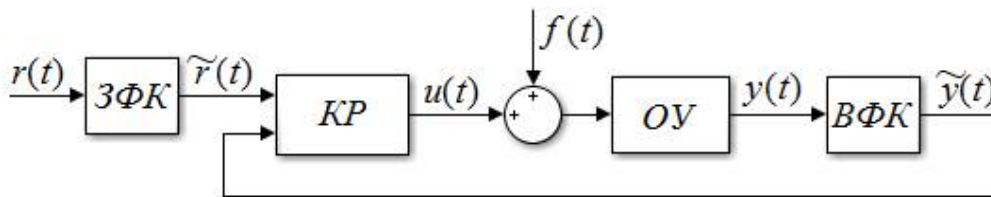


Рис. 1. Функциональная схема системы комбинированного управления, где ОУ – объект управления; КР – комбинированный регулятор; ЗФК и ВФК – задающий и выходной фильтр-корректоры.

Здесь уместно подчеркнуть, что система управления должна работать следующим образом: если от ЗФК на вход основного контура системы поступит сигнал $\tilde{r}(t)$, то на его выходе (совпадающем с выходом ВФК) будет формироваться сигнал $\tilde{y}(t) \cong \tilde{r}(t)$, причем на выходе ОУ это будет происходить за счет такого сигнала $y(t)$, что должно иметь место эффективное отслеживание задающего сигнала $r(t)$, т.е. $y(t) \cong r(t)$.

Математическое описание системы управления

Предполагается, что в условиях априорной неопределенности происходит поэтапное изменение параметров ОУ на промежутках времени: $0 = t_0 < t_1 < \dots < t_k$. Зададим математическую модель ОУ в пространстве состояний:

$$\frac{dx^{(k)}(t)}{dt} = A^{(k)} x^{(k)}(t) + B^{(k)} \left((1 + \beta^{(k)}(t)) (u^{(k)}(t) + C^T x^{(k)}(t) + f^{(k)}(t)) \right), x_0^{(k)} = x^{(k)}(0), \quad (1)$$

$$y^{(k)}(t) = C^T x^{(k)}(t)$$

где $x^{(k)}(t) = [x_1^{(k)}(t) \ x_2^{(k)}(t) \ \dots \ x_n^{(k)}(t)]^T$ – составной вектор состояния;

$$A^{(k)} = \begin{pmatrix} a_1^{(k)} & 1 & 0 & \dots & 0 \\ a_2^{(k)} & 0 & 1 & \dots & 0 \\ \dots & \dots & \dots & \dots & \dots \\ a_n^{(k)} & 0 & 0 & \dots & 0 \end{pmatrix} - \text{стационарные матрицы } n \times n; \quad C = [1 \ 0 \ \dots \ 0]^T - \text{вектор}$$

размерности $1 \times n$;

$$B^{(k)} = [0 \ \dots \ 0 \ b_0^{(k)} \ b_1^{(k)} \ \dots \ b_{m^{(k)}}^{(k)}]^T - \text{стационарные вектора};$$

$\beta^{(k)}(t)$ – скалярные временные функции;

$u^{(k)}(t)$ и $y^{(k)}(t)$ – скалярное управление и выход;

$f^{(k)}(t)$ – внешние помехи.

При этом ОУ в операторной форме записи будет иметь вид:

$$y^{(k)}(t) = \frac{b^{(k)}(p)}{a^{(k)}(p)} \theta^{(k)}(t) = W_{OU}^{(k)}(p) \theta^{(k)}(t), \quad (2)$$

где $\theta^{(k)}(t) = (1 + \beta^{(k)}(t)) (u^{(k)}(t) + C^T x^{(k)}(t) + f^{(k)}(t))$;

$W_{OU}^{(k)}(p)$ – передаточные функции линейной части объекта;

$a^{(k)}(p) = p^n + a_1^{(k)} p^{n-1} + \dots + a_{n-1}^{(k)} p + a_n^{(k)}$ – полиномы с произвольным расположением корней в комплексной плоскости $\deg a^{(k)}(p) = n$; $b^{(k)}(p) = b_0^{(k)} p^{m^{(k)}} + b_1^{(k)} p^{m^{(k)}-1} + \dots + b_{m^{(k)}-1}^{(k)} p + b_{m^{(k)}}^{(k)}$ – гурвицевы полиномы $\deg b^{(k)}(p) = m^{(k)}$;

$p = \frac{d}{dt}$ – оператор дифференцирования.

Будем считать, что между подсистемами уравнения (1) имеет место преемственность траекторий:

$$x^{(k+1)}(t_k) = x^{(k)}(t_k). \quad (3)$$

Помимо этого, предполагается, что функционирование ОУ (2) происходит при следующих допущениях:

1. Показатель $m^{(k)}$ на каждом промежутке времени $0 = t_0 < t_1 < \dots < t_k$ может принимать любое значение в диапазоне: $m_0 \leq m^{(k)} \leq n-1$, где $m_0 \geq 0$, n – известные значения. В связи с этим, относительная степень ОУ $p^{(k)} = n - m^{(k)}$ ограничена диапазоном: $1 \leq p^{(k)} \leq n - m_0$;

2. Значения нестационарных параметров $\beta^{(k)}(t)$ ограничены и определены с точностью до диапазонов: $0 < \underline{\beta}^{(k)} \leq \beta^{(k)}(t) \leq \overline{\beta}^{(k)}$, где $\underline{\beta}^{(k)}, \overline{\beta}^{(k)}$ – известные числа; (4)

3. Неизвестная функция $f^{(k)}(t)$, удовлетворяющая неравенству:

$$\left| f^{(k)}(t) \right| \leq f_0^{(k)} = \text{const}, \text{ где } f_0^{(k)} \text{ – известные числа; } \quad (5)$$

4. Непосредственному измерению доступны только выход $y^{(k)}(t) = x_1^{(k)}(t)$ и вход $u^{(k)}(t)$, а не их производные.

Поскольку верхний предел $\max p^{(k)} = n - m_0$ известен, целесообразно, следуя [4], подключить к ОУ выходной фильтр-корректор (ВФК), тогда будет справедлива следующая цепочка равенств:

$$\begin{aligned} y_{\phi}^{(k)}(s) &= W_{OY}^{(k)}(s) \cdot W_{BФК}^{(k)}(s) \theta^{(k)}(s) = \left(\frac{b^{(k)}(s)}{a^{(k)}(s)} \right) \cdot \left(\frac{\mathcal{G}(s)}{\mathcal{G}_*(s)} \right) \theta^{(k)}(s) = \\ &= \frac{b^{(k)}(s) \cdot (T_*s + 1)^{n-m_0-1}}{a^{(k)}(s) \cdot (T_*s + 1)^{m^{(k)}-m_0}} \cdot \frac{1}{(T_*s + 1)^{n-m^{(k)}-1}} \theta^{(k)}(s) = W_{BOY}^{(k)}(s) \cdot W_{BCB}^{(k)}(s) \theta^{(k)}(s) \end{aligned}, \quad (6)$$

где s – комплексная переменная;

$y_{\phi}^{(k)}(s)$ – выход фильтра-корректора;

T_* и T – постоянные времени, причем T_* , согласно [4–6], – достаточно малое по величине, а полиномы $\mathcal{G}_*(s)$ и $\mathcal{G}(s)$ – гурвицевы;

$W_{BФК}^{(k)}(s)$ и $W_{OY}^{(k)}(s)$ – передаточные функции ВФК и ОУ, которые позволяют ввести в рассмотрение, подобно [1–3], математические модели *видоизмененного ОУ* (ВОУ) и *блока структурного возмущения* (БСВ):

$$W_{BOY}^{(k)}(s) = \frac{b^{(k)}(s) \cdot (Ts + 1)^{n-m_0-1}}{a^{(k)}(s) \cdot (T_*s + 1)^{m^{(k)}-m_0}}, \quad (7)$$

$$W_{BCB}^{(k)}(s) = \frac{1}{(T_*s + 1)^{n-m^{(k)}-1}}. \quad (8)$$

Теперь в соответствии с произведенными преобразованиями (6), ВОУ имеет фиксированное значение относительной степени: $p^{(k)} = 1$, но при этом относительная степень БСВ остается переменной величиной. Достаточно малая величина постоянной времени T_* позволяет уравнения динамики ОУ с ВФК вида (2), (6) заменить уравнениями, описывающими динамику ВОУ (7).

Тогда упрощенную модель можно представить в пространстве состояний в виде, аналогичном виду (1), но с размерностью вектора состояний $n + m^{(k)} - m_0 = l$:

$$\begin{aligned} \frac{d\tilde{x}^{(k)}(t)}{dt} &= \tilde{A}^{(k)} \tilde{x}^{(k)}(t) + \tilde{B}^{(k)} (1 + \beta^{(k)}(t)) (u^{(k)}(t) + \tilde{C}^T \tilde{x}^{(k)}(t) + f^{(k)}(t)), \quad \tilde{x}_0^{(k)} = \tilde{x}^{(k)}(0), \\ \tilde{y}^{(k)}(t) &= \tilde{C}^T \tilde{x}^{(k)}(t) = \tilde{x}_1^{(k)}(t), \end{aligned} \quad (9)$$

где $\tilde{x}^{(k)}(t) = [\tilde{x}_1^{(k)}(t) \quad \tilde{x}_2^{(k)}(t) \quad \dots \quad \tilde{x}_l^{(k)}(t)]^T$ – составной вектор состояния;

$$\tilde{A}^{(k)} = \begin{pmatrix} \tilde{a}_1^{(k)} & 1 & 0 & \dots & 0 \\ \tilde{a}_2^{(k)} & 0 & 1 & \dots & 0 \\ \dots & \dots & \dots & \dots & \dots \\ \tilde{a}_l^{(k)} & 0 & 0 & \dots & 0 \end{pmatrix} \text{ – стационарные матрицы } l \times l;$$

$\tilde{C} = [1 \quad 0 \quad \dots \quad 0]^T$ – вектор размерности $1 \times l$;

$\tilde{B}^{(k)} = [\tilde{b}_0^{(k)} \quad \tilde{b}_1^{(k)} \quad \dots \quad \tilde{b}_{l-1}^{(k)}]^T$ – стационарные вектора размерности $1 \times l$;

$\tilde{y}^{(k)}(t)$ – скалярный выход.

На основе (9) запишем передаточную функцию линейной части:

$$W_{BOY}^{(k)}(s) = \tilde{C}^T (Ej\omega - \tilde{A}_m^{(k)})^{-1} \tilde{B}^{(k)} = \frac{\tilde{b}_0^{(k)} s^{l-1} + \tilde{b}_1^{(k)} s^{l-2} + \dots + \tilde{b}_{l-2}^{(k)} s + \tilde{b}_{l-1}^{(k)}}{s^l + \tilde{a}_1^{(k)} s^{l-1} + \dots + \tilde{a}_{l-1}^{(k)} s + \tilde{a}_l^{(k)}} = \frac{\tilde{b}^{(k)}(s)}{\tilde{a}^{(k)}(s)}. \quad (10)$$

Для задания желаемого качества переходных процессов ОУ (9) воспользуемся неявным эталоном. Пусть желаемая динамика выхода ОУ – $r(t)$ совместно с задающим ФК образует сигнал $\tilde{r}(t)$:

$$\tilde{r}(s) = W_{3\Phi K}(s) r(s) = \frac{\mathfrak{G}(s)}{\mathfrak{G}_*(s)} r(s). \quad (11)$$

Известно, что с использованием коэффициента $\chi_*^{(k)} \gg 1$ или $\chi_*^{-1(k)} \cong 0$, неявную эталонную модель можно представить в операторном виде:

$$y_m^{(k)}(t) = \frac{\chi_*^{(k)}}{p + \chi_*^{(k)}} \tilde{r}(t) = \frac{1}{\chi_*^{-1(k)} p + 1} \tilde{r}(t), \quad (12)$$

допускающее преобразование:

$$y_m^{(k)}(t) = \frac{\chi_*^{(k)} \tilde{b}^{(k)}(p)}{(p + \chi_*^{(k)}) \tilde{b}^{(k)}(p)} \tilde{r}(t) \cong \frac{\tilde{\chi}_*^{(k)} \tilde{b}^{(k)}(p)}{\tilde{a}^{(k)}(p) + \chi_*^{(k)} \tilde{b}^{(k)}(p)} \tilde{r}(t) = \frac{\tilde{\chi}_*^{(k)} \tilde{b}^{(k)}(p)}{\tilde{a}_*^{(k)}(p)} \tilde{r}(t), \quad (13)$$

где $\tilde{a}_*^{(k)}(p) = p^l + (\tilde{a}_1^{(k)} + \chi_*^{(k)} \tilde{b}_0^{(k)}) p^{l-1} + \dots + (\tilde{a}_{l-1}^{(k)} + \chi_*^{(k)} \tilde{b}_{l-2}^{(k)}) p + \tilde{a}_l^{(k)} + \chi_*^{(k)} \tilde{b}_{l-1}^{(k)}$; $\tilde{\chi}_*^{(k)} = \chi_*^{(k)} \tilde{b}_0^{-1(k)}$.

Тогда для ВОУ (9) эталонная модель в пространстве состояний будет иметь вид:

$$\frac{d\tilde{x}_m^{(k)}(t)}{dt} = \tilde{A}_m^{(k)} \tilde{x}_m^{(k)}(t) + \tilde{\chi}_*^{(k)} \tilde{B}^{(k)} \tilde{r}(t), \quad \tilde{y}_m^{(k)}(t) = \tilde{C}^T \tilde{x}_m^{(k)}(t), \quad (14)$$

где $\tilde{x}_m^{(k)}(t) = [\tilde{x}_{1m}^{(k)}(t) \quad \tilde{x}_{2m}^{(k)}(t) \quad \dots \quad \tilde{x}_{lm}^{(k)}(t)]^T$ – вектор состояния эталона;

$\tilde{A}_m^{(k)} = \tilde{A}^{(k)} + \chi_*^{(k)} \tilde{B}^{(k)} \tilde{C}^T$ – эталонная матрица состояния;

$\chi_*^{(k)} > 0$ – достаточно большие постоянные величины, согласно [7];

$y_m^{(k)}(t)$ – выход эталона.

С учетом соотношений $\chi_*^{(k)} \gg 1$ или $\chi_*^{-1(k)} \cong 0$, возможно выполнение равенства:

$$y_m^{(k)}(t) \cong \tilde{r}(t). \quad (15)$$

Постановка задачи

Для ОУ (9), функционирующего в условиях структурно-параметрической неопределенности, необходимо синтезировать *явный вид закона управления*:

$$u^{(k)}(t) = u(\tilde{y}^{(k)}(t), \tilde{r}(t)), \quad (16)$$

такой, чтобы при любых начальных условиях, ограниченных помехах и измерении только регулируемого выхода ОУ, была возможна при $t \rightarrow \infty$ *вспомогательная цель управления*:

$$|\tilde{y}_m^{(k)}(t) - \tilde{y}^{(k)}(t)| \cong |\tilde{r}(t) - \tilde{y}^{(k)}(t)| \leq \tilde{\delta}_0 = const, \quad \text{где } \tilde{\delta}_0 \text{ – ограниченная величина.} \quad (17)$$

Тогда в силу существования данных соотношений (14) – (16) и двух эквивалентных ФК (6), (11) будут выполнены требования при $t \rightarrow \infty$ *основной цели управления*:

$$|r(t) - y^{(k)}(t)| \leq \delta_0, \quad \text{где } \delta_0 \text{ – максимально допустимая ошибка.} \quad (18)$$

Синтез алгоритмов комбинированной системы управления

Используя отклонение между переменными состояниями ВОУ и эталонной модели (9), (14) в виде $e^{(k)}(t) = \tilde{x}_m^{(k)}(t) - \tilde{x}^{(k)}(t)$, динамическую модель можно представить:

$$\begin{aligned} \frac{de^{(k)}(t)}{dt} &= \tilde{A}_m^{(k)} e^{(k)}(t) + \tilde{B}^{(k)} \mu^{(k)}(t), e_0^{(k)} = e^{(k)}(0) = \tilde{x}_0^{(k)} \\ v^{(k)}(t) &= \tilde{C}^T e^{(k)}(t) = \tilde{y}_m^{(k)}(t) - \tilde{y}^{(k)}(t) = \tilde{r}(t) - \tilde{y}^{(k)}(t), \\ \mu^{(k)}(t) &= \tilde{\chi}_*^{(k)} \tilde{r}(t) + \chi_* \tilde{y}^{(k)}(t) - (1 + \beta^{(k)}(t)) (u^{(k)}(t) + \tilde{y}^{(k)}(t) + f^{(k)}(t)) \end{aligned} \quad (19)$$

где $v^{(k)}(t)$ и $\mu^{(k)}(t)$ – видоизмененный регулируемый выход и управление.

Так как синтез алгоритмов управления происходит по критерию гиперустойчивости, то, подобно работам [3, 4], необходимо обеспечить выполнение *положительности линейной части системы (19) и интегрального неравенства В.М.Попова (ИНП)*:

$$1. \operatorname{Re}(\tilde{C}^T (Ej\omega - \tilde{A}_m^{(k)})^{-1} \tilde{B}^{(k)}) > 0, \omega \geq 0 \quad (20)$$

Передаточная функция линейной части системы, см. (12), эквивалента апериодическому звену 1-го порядка, на основании этого имеет место выполнение условия (20).

$$2. h^{(k)}(0, t) = -\int_0^t v^{(k)}(v) \mu^{(k)}(v) dv > -h_0^{(k)} = \text{const}, t > 0 \quad (21)$$

При задании управления в виде сигнала:

$$\begin{aligned} u^{(k)}(t) &= h_{12} \tilde{r}(t) \int_0^t \tilde{r}(v) v^{(k)}(v) dv + h_{12} (\tilde{r}(t))^2 v^{(k)}(t) + h_{21} \tilde{y}_{sat}^{(k)}(t) \int_0^t \tilde{y}_{sat}^{(k)}(v) v^{(k)}(v) dv + \\ &+ h_{22} (\tilde{y}_{sat}^{(k)}(t))^2 v^{(k)}(t) + h_{31} \int_0^t v^{(k)}(v) dv + h_{32} v^{(k)}(t), \\ \tilde{y}_{sat}^{(k)}(t) &= \text{sat}(\tilde{y}^{(k)}(t)), \tilde{v}^{(k)}(t) = \tilde{r}(t) - \tilde{y}_{sat}^{(k)}(t) \end{aligned} \quad (22)$$

где $h_{11}, h_{12}, h_{21}, h_{22}, h_{31}, h_{32} = \text{const} > 0$, будет разрешимо ИНП. Для ослабления влияния в переходных процессах пиков, нарушающих устойчивость функционирования систем управления, ограничиваем сигнал $\tilde{y}^{(k)}(t)$ на выходе ВФК, подобно [3], нелинейностью типа «насыщение».

Таким образом, в комбинированной системе с неявным эталоном и двумя ФК (1), (6), (11), (22), предназначенной для управления нестационарным объектом с переключениями, синтезирован регулятор минимальной структурной сложности (22).

Пример имитационного моделирования системы

Рассмотрим комбинированную систему (1), (6), (11), (22), для которой в момент времени $t_1 = 40$ с возникает структурно-параметрическое переключение:

$$1. 0 < t < t_1$$

$$A^{(1)} = \begin{pmatrix} 1 & 1 & 0 \\ -3 & 0 & 1 \\ 2 & 0 & 0 \end{pmatrix}; B^{(1)} = \begin{pmatrix} 0.8 \\ 1 \\ 0.5 \end{pmatrix}; f^{(1)}(t) = 3 \sin(0.7t); (x^{(1)}(0))^T = [0.5 \quad 0.5 \quad 0.5]; \beta^{(1)}(t) = 2 + 1.5 \sin(2t);$$

$$2. t \geq t_1$$

$$A^{(2)} = \begin{pmatrix} -2.7 & 1 & 0 \\ 0.5 & 0 & 1 \\ 3 & 0 & 0 \end{pmatrix}; B^{(2)} = \begin{pmatrix} 0 \\ 1.4 \\ 2 \end{pmatrix}; f^{(2)}(t) = -\cos^2(0.6t); x^{(2)}(t_1) = x^{(1)}(t_1); \beta^{(2)}(t) = 1 - 0.5\cos^2(2t).$$

Подсистемы являются неустойчивыми с максимальной относительной степенью: $\max(p^{(k)}) = 2$. Зададим постоянные параметры: уравнение задающего и выходного фильтр-

корректора $W_{\text{зФК}} = W_{\text{вФК}} = \frac{0.1s + 1}{0.005s + 1}$; задающее воздействие –

$r(t) = 0.3\sin(0.2t) - 0.8\sin(0.5t) - 0.5\sin(0.25t)$; значения, необходимые для задания управления (39): $h_{11} = 4000; h_{12} = 20; h_{21} = 6000; h_{22} = 30; h_{31} = 1500; h_{32} = 20$;

$$\tilde{y}_{\text{sat}}^{(k)}(t) = \text{sat}(\tilde{y}^{(k)}(t)) = \begin{cases} -10 & \text{при } \tilde{y}^{(k)}(t) \leq -10 \\ \tilde{y}^{(k)}(t) & \text{при } |\tilde{y}^{(k)}(t)| < 10 \\ 10 & \text{при } \tilde{y}^{(k)}(t) \geq 10 \end{cases}$$

На рисунке 2 представлены графики регулируемого выхода $y^{(k)}(t)$ и задающего воздействия $r(t)$, ошибки рассогласования $y^{(k)}(t) - r(t)$, внешнего ограниченного возмущения $f^{(k)}(t)$ и управляющего воздействия $u^{(k)}(t)$.

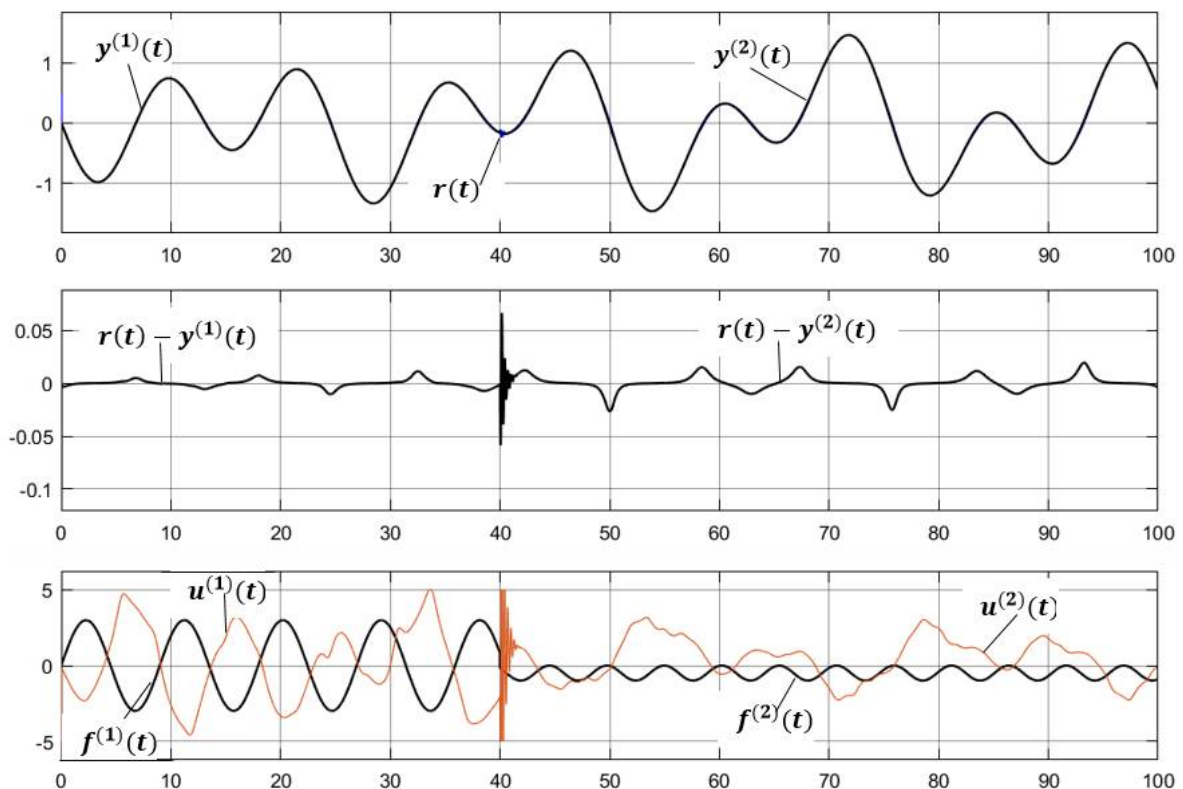


Рис. 2. Динамические процессы в комбинированной системе управления

Выводы

В результате проведения имитационного моделирования ошибка рассогласования принимает значение около 0.025%, кроме начального участка траектории системы и периодов, возникающих сразу после переключения, где наблюдаются резкие скачки. Малая ошибка подтверждает, что разработанные алгоритмы обеспечивают хорошее качество управления.

Библиографический список

1. Еремин Е.Л. Адаптивное управление динамическим объектом на множестве состояний функционирования // Информатика и системы управления. - 2012. - № 4(34). - С. 107-118.
2. Еремин Е.Л. Комбинированная система с неявным эталоном для класса априорно неопределенных одноканальных объектов неаффинных по управлению на множестве состояний функционирования // Информатика и системы управления. - 2018. - № 3(57). - С. 93-103.
3. Еремин Е.Л., Никифорова Л.В., Шеленок Е.А. Комбинированная нелинейная система управления с неявным эталоном для априорно неопределенного неаффинного двухканального объекта с запаздываниями по выходу // Информатика и системы управления. - 2020. - № 1(63). - С. 95-108.
4. Еремин Е.Л. L-диссипативность гиперустойчивой системы управления при структурных возмущениях. IV // Информатика и системы управления. - 2013. - № 2(36). - С. 100-106.
5. Еремин Е.Л. L-диссипативность гиперустойчивой системы управления при структурном возмущении. II. // Информатика и системы управления. - 2007. - № 1(13). - С. 130-139.
6. Еремин Е.Л. L-диссипативность гиперустойчивой системы управления при структурном возмущении. I. // Информатика и системы управления. - 2006. - № 2(12). - С. 94-101.
7. А. Л. Фрадков, Синтез адаптивной системы стабилизации линейного динамического объекта, Автомат. и телемех., 1974, выпуск 12, 96-103.

УДК 681.518.5; ГРНТИ 50.47

ИНТЕЛЛЕКТУАЛЬНАЯ СИСТЕМА АНАЛИЗА ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ ДАННЫХ

Р. Н. Фадеев*, Е. Ю. Огурцова**

* Владимирский государственный университет
имени Александра Григорьевича и Николая Григорьевича Столетовых,
Российская Федерация, Владимир, fadeevroman.shua@gmail.com,
** Ивановский государственный университет, Шуйский филиал,
Российская Федерация, Шуя, ogurcova-elena@mail.ru

Аннотация. В работе приводится обобщённая структура управления с применением интеллектуальной системы анализа технологических данных. Рассматриваются задачи, которые необходимо решить для использования адаптивных алгоритмов машинного обучения в управлении технологическими процессами.

Ключевые слова: технологический процесс, автоматизированные системы управления, системы диспетчерского контроля и управления, интеллектуальная система анализа данных.

INTELLIGENT PROCESS DATA ANALYSIS SYSTEM

R. N. Fadeev*, E. Yu. Ogurtsova**

*Vladimir State University named after Alexander Grigorievich and Nikolai Grigorievich Stoletov,
Russia, Vladimir, fadeevroman.shua@gmail.com,
**Ivanovo State University, Shuya branch,
Russia, Shuya, ogurcova-elena@mail.ru

The summary. The paper provides a generalized control structure using an intelligent process data analysis system. The problems that must be solved for use of adaptive machine learning algorithms in process control are considered.

Keywords: process, automated control systems, dispatching control and control systems, intelligent data analysis system.

В настоящее время для большинства технологических процессов используются автоматизированные системы управления (АСУ ТП). На начальном этапе внедрение АСУ ТП в различных областях промышленности было направлено на автоматизацию сложных производственных процессов, когда главная роль отводилась оператору при осуществлении управления и контроля. Сейчас цель внедрения АСУ ТП это возможно более полное исключение человека и влияния «человеческого фактора» на производственные процессы. Новое направление в развитии АСУ ТП – включение элементов, способных обеспечить управление и принятие решений непосредственно применяемой системой с обеспечением контроля диспетчером [5]. Перед разработчиками встала задача интеллектуализации АСУ ТП.

Современные АСУ ТП можно охарактеризовать как многоуровневые человеко-машинные системы управления [4]. Структуру АСУ ТП можно представить в виде трех уровней (рисунок 1). Первый уровень образован контрольно-измерительными приборами, приборами автоматики, исполнительными устройствами управления, пультами сигнализации. Второй уровень представлен программируемыми логическими контроллерами (ПЛК). Третий уровень – автоматизированные рабочие места (АРМ), серверы баз данных.

Данные (о протекании технологических процессов с учётом действий диспетчерского персонала, параметров среды, состояний агрегатов и характеристик исходного сырья и т.п) в процессе автоматизированного или автоматического контроля образуют большой массив, который включает информацию как о текущем состоянии того или иного агрегата, так и о начавшихся критических изменениях в его технических характеристиках и свойствах. Для того чтобы отследить неблагоприятные изменения в работе оборудования используют системы диспетчерского контроля и управления (SCADA). На многих предприятиях в основе таких систем лежит принцип объединения и визуализации данных из различных источников в формате доступном для проведения анализа. Анализ представленной информации остаётся за человеком. Подобный анализ не всегда позволяет учитывать многочисленные косвенные факторы и прогнозировать критическую ситуацию априори, анализ проводится с задержкой относительно режима реального времени. Поэтому актуальными становятся методы анализа данных с использованием экспертных систем, машинного обучения.

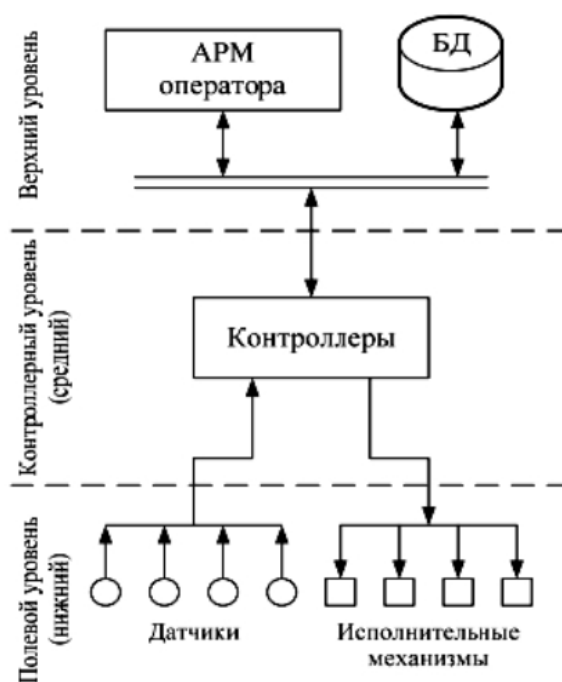


Рис. 1. Структура АСУ ТП

Разработчики решений для интеллектуального анализа технологических данных считают, что их внедрение способствует:

- значительному уменьшению времени простоя оборудования;
- более качественному планированию мероприятий по техническому обслуживанию;
- сокращению времени внепланового технического обслуживания;
- полноценному анализу причин отказов оборудования;
- накоплению более точной и полной информации о технологическом процессе;
- увеличению срока службы сложного технологического оборудования.

Небольшое количество решений в области индустриальной аналитики Д. А. Мурзагулов, А. В. Замятин [3] связывают со следующими обстоятельствами:

- нестационарность и быстрое изменение по времени параметров технологических процессов приводят к сложным математическим описаниям;
- данные могут иметь неоднородную структуру (вещественные значения, события, сообщения);
- уникальность каждого объекта управления, которая требует адаптивного подхода для каждого случая;
- изменения тренда технологического сигнала, ремонтные или иные регламентные процедуры могут быть причинами возникновения аномальных ситуаций.

Интеллектуальные системы анализа на основе адаптивных алгоритмов машинного обучения могут осуществлять контроль и оценку состояния сложных динамических объектов управления в условиях реального времени, формировать решения о воздействии на технологический процесс. Процесс адаптации продолжается, и система постоянно обучается, в ходе обработки данных расширяются имеющиеся знания. Объединение интеллектуальной системы с существующими на предприятии SCADA позволяет достигнуть автоматического и непрерывного функционирования управления технологическим процессом. Обобщённая структура управления с применением интеллектуальной системы анализа технологических данных приведена на рисунке 2.

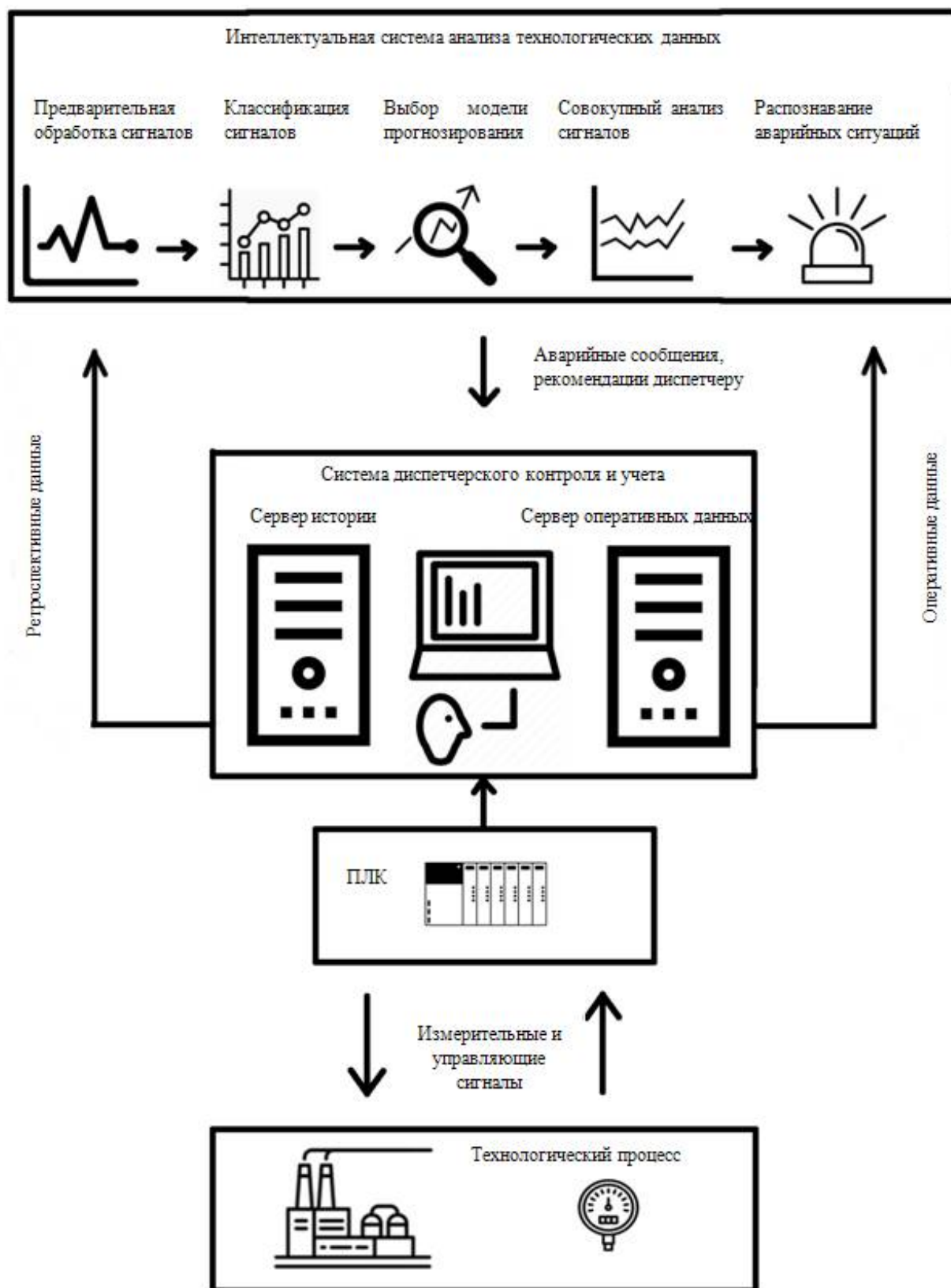


Рис. 2. Интеграция интеллектуальной системы анализа технологических данных с системой диспетчерского контроля и управления

Использование адаптивных алгоритмов машинного обучения в управлении технологическими процессами требует решения ряда задач:

- *Предварительная обработка сигналов.* Сигнал является единицей технологической информации и обычно поступает от различного типа измерительных преобразователей: давления, температуры, расхода и т. п. В сигналах могут присутствовать искажения различного характера (шумы, избыточная информация, пропуски значений и т.д.). До процесса построения модели это следует устранить или снизить степень их влияния [1].
- *Классификация технологических сигналов.* Технологические сигналы могут быть разных типов от детерминированных до случайных. Для сигналов первого типа математический аппарат анализа будет отличаться от анализа случайных величин, где необходимо оперировать вероятностными характеристиками. Кроме этого технологические сигналы могут образовывать как отдельный класс, так и в случае более сложных процессов являться комбинацией классов. Классификация технологических сигналов сделает возможным применение своего метода анализа к каждому классу, облегчит в дальнейшем принятие решений.
- *Разработка метрик оценки качества для обеспечения контролируемой точности алгоритмов и выбор модели прогнозирования.* Модель прогнозирования оказывает влияние на результат работы алгоритма машинного обучения. Для оценивания пригодности модели необходимо разработать подходящие метрики качества, которые наилучшим образом позволят учесть специфику технологических процессов.
- *Анализ совокупности сигналов.* Многие реальные объекты характеризуется совокупностью сигналов. Для решения этой задачи могут быть применены методы поиска взаимных корреляций между независимыми параметрами и установления их степени влияния друг на друга.
- *Разработка адаптивного алгоритма распознавания и прогнозирования внештатных ситуаций.* Необходимо создать модели, которые сопоставляют результаты мониторинга текущей ситуации с набором ретроспективных данных, с определённой долей вероятности предсказывают возникновение внештатной ситуации или необходимость внепланового технического обслуживания объекта. Постоянно контролируются отклонения прогнозного и фактического сигналов. Чтобы избежать ложных срабатываний в процессе установления вероятности отказа оборудования и внештатной ситуации, необходимо определить пороговое значение максимально возможного отклонения и длительности отклонения сигналов. Адаптивность подхода состоит в том, что учитывается класса сигнала (определён на предыдущих этапах), когда отдаётся предпочтение модели для прогнозирования внештатных ситуаций. Возможно использование процедур бустинга и бэггинга – последовательное и параллельное построение комплекса алгоритмов для итеративной оптимизации [2].
- *Разработка технологии динамического обучения.* Технологические процессы являются сложными объектами с изменяющимися во времени характеристиками, поэтому при эксплуатации интеллектуальной системы необходимо проводить дополнительное обучение модели. Сезонность, изменение производственного плана или ряд других факторов могут оказывать влияние на условия работы оборудования. Гибкий подход в зависимости от выбранной модели машинного обучения необходим и при решении данной проблемы.
- *Программная реализация разработанных алгоритмов.* Интеллектуальная система анализа для оценки и контроля состояния технологических процессов должна отвечать требованиям производительности, совместимости и предоставлять удобный интерфейс пользователя для оперативной поддержки и принятия решений. При создании программного обеспечения возникает необходимость

реализации совокупности математических моделей как семейства дополняющих друг друга решений.

Библиографический список

1. Айфичер Э., Джервис Б. Цифровая обработка сигналов. Практический подход. 2-е изд. М.: Вильямс, 2004. 992 с.
2. Замятин А.В. Интеллектуальный анализ данных. Томск: Издательский Дом Томского государственного университета, 2020. 196 с.
3. Мурзагулов Д.А., Замятин А.В. Адаптивные алгоритмы машинного обучения в управлении технологическими процессами // Автоматизация. Современные технологии. 2018. Т. 72. № 8. С. 354—361.
4. Нестеров А.Л. Проектирование АСУ ТП. СПб.: Деан, 2009. 552 с.
5. Самойлова Е.М., Игнатъев А.А. Интеграция искусственного интеллекта в автоматизированные системы управления и проектирования технологических процессов // Вестник Саратовского государственного технического университета, 2010. № 1. С. 127-132.

УДК 623.4.018; ГРНТИ 78.25

ИЗУЧЕНИЕ ПРИНЦИПА ИСПЫТАНИЙ ОБРАЗЦОВ ИЗДЕЛИЙ НА ВОЗДЕЙСТВИЕ ТЕПЛА И ХОЛОДА

В.Ю. Власенко

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

Аннотация. В данной работе рассматривается способ испытания образцов оружия на воздействие высоких и низких температур в камере тепла и холода. Показано что при ходе таких испытаний удается проверить образцы исследования как они будут себя вести в различных температурах.

Ключевые слова: высокая и низкая температура, камера, влияние положительных и пониженных температур, измерение температур.

STUDY OF THE PRINCIPLE OF TESTING SAMPLES FOR THE EFFECTS OF HEAT AND COLD

V.Yu.Vlasenko

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

The summary. This paper considers a method for testing weapon samples for exposure to high and low temperatures in a heat and cold chamber. It is shown that in the course of such tests it is possible to check the samples and study how they will behave in different temperatures.

Keywords: high and low temperature, chamber, influence of positive and low temperatures, temperature measurement.

В настоящее время экологические испытания продукции имеют большое значение в промышленности. Ведь большинство производителей заинтересованы в том, чтобы изделия служили дольше и были устойчивы к внешним факторам в процессе эксплуатации. Для этих целей используются различные устройства, среди которых широкое распространение получили термокамеры.

Термокамера – это специальное оборудование для проведения испытаний при низких или высоких температурах. Представляет собой прямоугольный блок, в котором установлены камера для объекта исследования, устройства охлаждения и обогрева, теплоизоляция, дверь со смотровым окошком, пульт управления, датчики температуры и воздухопроводы. Его корпус изготовлен из коррозионностойкой стали, дверцы крепятся на обрезиненных надежных петлях, которые способствуют теплоизоляции.

Он входит в общую группу испытаний машин, устройств и других технических изделий, а также деталей, узлов, материалов, защитных и декоративных покрытий, применяемых в этих изделиях, на стойкость к внешним климатическим факторам, то есть к их воздействию окружающей среды.

Они входят в общую группу испытаний на устойчивость к внешним факторам, к которым, помимо климатических факторов, относятся также механические воздействия и воздействие особых агрессивных сред.

Климатические испытания проводят как в натуральных условиях, так и с помощью специально предназначенного для климатических испытаний оборудования, часть из которых, при наличии замкнутого объема для размещения испытуемых изделий, называют климатическими камерами.

Экологические испытания в естественных условиях — самый простой способ проверить долговечность тестируемых изделий. Основными недостатками этого метода являются большая продолжительность испытаний и зачастую невозможность получения полного набора экстремальных условий, которые должен выдержать испытуемый образец.

Эта задача решается с помощью специального испытательного оборудования, с помощью которого можно создавать любые экстремальные условия, часто даже не встречающиеся в реальности на нашей планете. Использование искусственно созданных погодных условий позволяет многократно сократить продолжительность испытаний и в экстремальных условиях специальными методиками делать достоверные прогнозы о работоспособности оборудования в долгосрочной перспективе.

При разработке современных типов вооружений проводятся многочисленные испытания, в том числе на влияние различных внешних воздействий. Климатическая камера предназначена для воспроизведения жестких условий окружающей среды: повышенной высокой и низкой температуры (табл. 1).

Таблица 1. Пределы воздействия температуры в процессе периодических испытаний образцов военной техники

Диапазон рабочих температур
Нижний предел: -80°C ($+20^{\circ}\text{C}$, -40°C , -55°C)
Верхний предел: $+180^{\circ}\text{C}$ ($+70^{\circ}\text{C}$, $+100^{\circ}\text{C}$, $+125^{\circ}\text{C}$)

На графике (рис. 1) показано протикание температурного режима от нулевой температуры в отрицательную после чего происходит выдержка. Процесс перехода от отрицательной температуры в положительную не может быть осуществлён мгновенно. В следствии чего занимает определенный период времени.

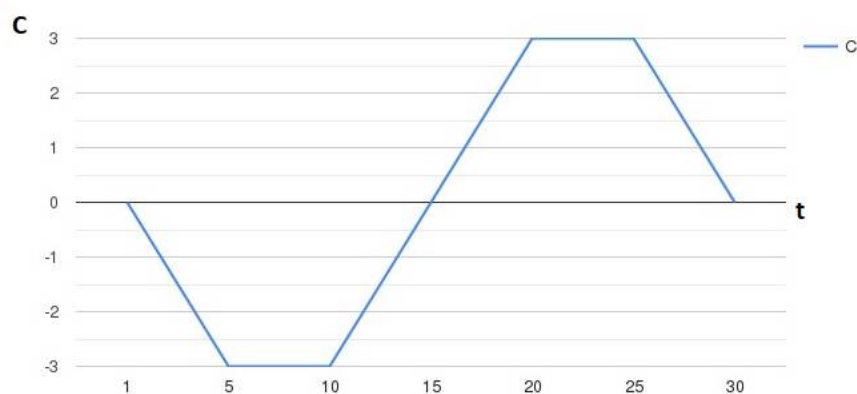


Рис. 1. График температурной зависимости

Физическая природа тепла и холода одна и та же, разница лишь в скорости движения молекул и атомов. При отводе тепла движение молекул замедляется и тело охлаждается. При подводе тепла движение молекул ускоряется и тело нагревается, то есть причиной нагревания и охлаждения является движение молекул, из которых состоит любое физическое тело.

Охлаждение нагретого тела до комнатной температуры происходит самопроизвольно, естественно, за счет передачи тепла окружающей среде без применения холодильного оборудования. Задача последних — охладить тело до температуры ниже комнатной, что можно сделать с помощью холодильных машин или безмашинных источников холода. Процессы в элементах холодильной машины взаимосвязаны и находятся под влиянием как окружающей среды, так и охлаждаемых объектов. Для получения низких температур используют физические процессы, которые сопровождаются поглощением тепла.

Для испытания воздействия термических напряжений применяют горячие, холодные или смешанные камеры: термовлажностные камеры, вакуумные термокамеры, горячие и холодные камеры, камеры термоциклирования.

В испытательных камерах необходимый тепловой режим и равномерность температуры по всему объему камеры обеспечивают размещением нагревательных элементов на дне, стенках и двери камеры или подачей нагретого воздуха (хладагента) внутрь металлического кожуха, окружающего полезный объем. Достижение низких температур может быть достигнуто двумя способами: прямым охлаждением хладагентом (жидким азотом, углекислым газом, аммиаком), а также косвенным охлаждением компрессорной установкой. Косвенный метод охлаждения основан на свойстве жидкости при испарении поглощать тепло из окружающей среды. Техническая реализация этого метода основана на использовании компрессионно-испарительной системы, в одной части которой газообразный хладагент (фреон) сжимается до давления, обеспечивающего конденсацию, а в другой части быстро расширяется. Хладагент в установке используется длительное время, поскольку циркулирует в замкнутой системе.

Температурный режим в испытательных камерах поддерживается автоматически путем включения или выключения части нагревательных элементов или холодильной установки. Контактные ртутные термометры, электронные мосты, потенциометры и программные устройства используются для автоматического измерения и контроля температуры, а термопары или термисторы являются датчиками, чувствительными к температуре.

Размещение датчиков контроля температуры при испытании терморассеивающих изделий должно учитывать возможность исключения взаимного влияния изделий друг на друга с тем, чтобы при установлении температурного режима выходные измерительные приборы показывали истинную температуру. Внешний вид камер и их схематическое изображение, поясняющее принцип работы.

Продолжительность испытания зависит от скоростных характеристик камеры, таких как время нагрева и охлаждения и скорости нагрева и охлаждения при заданных значениях температуры и влажности. Следует отметить, что нагрузки камер, при которых реализуются эти скорости, должны быть указаны обязательно, так как в документации камеры приведены только значения средних скоростей.

Преимущества

- построение алгоритмов работы на стенде по принципу, исключающему человеческий фактор
- увеличение количества тестируемых элементов и объёмов проверок в максимально короткий срок по требованию заказчика благодаря модульной архитектуре
- камера тепла и холода в едином конструктиве с измерительным блоком
- диапазон в термокамеры от минус 80 до +180°C
- погрешность измерения: $\pm 0,5$ °C
- точность поддержания: $\pm 1,5$ °C;

Таким образом, среди представленных выше климатических камер климатическую камеру можно рекомендовать для использования при поверке и калибровке средств измерений на высокие и относительно низкие температуры в испытательных лабораториях.

Библиографический список

1. Глудкин и устройства испытания РЭС и ЭВС. – М.: Высш. школа., 2001 – 335 с 2001
2. Дубицкий аппаратуры и средства измерений на воздействие внешних факторов. М.: Машиностроение, 2003 – 567 с 2003
3. Контроль и испытания в проектировании и производстве радиоэлектронных средств – Техносфера, 2005. – 504с. 2005
4. Национальная система сертификации Республики Беларусь. Мн.: Госстандарт, 2007 2007
5. Готра З. Ю., Николаев И. М. Контроль качества и надежности микросхем: Учебник для техникумов. — М.: Радио и связь, 1989. — 168 с., ил.
6. Критенко М. И., Бедревский М. А., Вуколов Н. И. Особенности обеспечения и контроля качества изделий единичного и мелкосерийного производства // Экономика и производство. — 1999. —

УДК 65.011.54;ГРНТИ 65.01.85

АВТОМАТИЗАЦИЯ КОНТРОЛЯ КАЧЕСТВА ПРИ ПРОИЗВОДСТВЕ МОЛОЧНОЙ ПРОДУКЦИИ

А.О. Макарова

*Рязанский государственный радиотехнический университет имени В.Ф. Уткина,
Российская Федерация, Рязань, makanna98@mail.ru*

Аннотация. В статье рассматривается необходимость внедрения автоматизированной системы контроля качества при производстве молочной продукции. Рассматривается принцип работы автоматизированной системы контроля работающей на основе применения системы машинного зрения.

Ключевые слова: молочная промышленность, автоматизация, производство, сквашивание, система контроля, молочная продукция, контроль качества, датчики, машинное зрение.

AUTOMATION OF QUALITY CONTROL IN THE PRODUCTION OF DAIRY PRODUCTS

A.O. Makarova

*Ryazan State Radio Engineering University named after V.F. Utkin,
Russian Federation, Ryazan, makanna98@mail.ru*

Annotation. The article discusses the need to introduce an automated quality control system in the production of dairy products. The principle of operation of an automated control system based on the use of a machine vision system is considered..

Key words: dairy industry, automation, production, ripening, control system, milk production, quality control, sensors, machine vision.

Автоматизация обычно относится к науке и технике для выполнения процесса с максимальной точностью и эффективностью. Основной целью автоматизации в различных областях является достижение более высокой точности и эффективности во всех операциях и процессах. Контроль технологических параметров при переработке молока и производстве различных продуктов является одним из обязательных требований для достижения желаемого качества продукта. Помимо стабильного качества продукции, автоматизация также обеспечивает эксплуатационную гибкость, энергосбережение и безопасность на предприятии. Автоматизация сотворила чудо в области упаковки молочных и пищевых продуктов.

В нынешнем мире во все сферы общества стремительными темпами развиваются информационные технологии. Степень развития информационных технологий, а так же характер использования существенно влияет на благосостояние и эффективность общества, а так же на реализацию какой-либо профессиональной деятельности. Главные позиции каждой организации всегда в первую очередь зависят от её возможности грамотно применять передовые инновации, не отставая от развития информационных технологий.

Системы автоматизированного контроля технологических процессов при производстве молочной продукции освобождают сотрудников от необходимости самостоятельно контролировать процесс. Система, установленная в производственный комплекс, при помощи беспроводной или проводной линии связи автоматически производит опрос, регистрацию, обработку и отправку данных при использовании различных датчиков, процессорных модулей и контрольно-измерительных устройств. От оператора требуется всего лишь выставлять значения параметров технологического процесса.

Автоматизация в молочной промышленности в настоящее время рассматривается как универсальный инструмент для решения важнейших задач управления процессами и производством, контроля и управления предприятиями, а также решения сопутствующих финансовых и организационных проблем. Пищевая промышленность во всем мире является одним из крупнейших секторов экономики и занятости. В нем текущая автоматизация и инженер-

ная практика сильно различаются: от полностью ручных операций до использования самых передовых производственных систем.

Быстрое развитие компьютерных технологий и повышенные ожидания потребителей и регулирующих органов в отношении повышения качества и надежности пищевых продуктов вынудили пищевую промышленность рассмотреть возможность автоматизации большинства производственных процессов [5].

На сегодняшний день в нашей стране в развитии экономической сферы промышленных производств на передний план поставлены задачи увеличения эффективности всех отраслей в пищевой промышленности. С каждым днем требовательность современного общества к качеству пищевой продукции возрастает, с этим также все больше поднимаются требования к улучшению качества отечественным продуктам питания. В следствии чего необходимо увеличивать эффективность не только процессов производства, но и контроля качества продукции.

К данным задачам в настоящее время возможно найти решение только основываясь на применении современных научных изобретений в сфере технологий и техники, которые могут обеспечивать правильность и стабильность технологических процессов, оснащённость современными методами автоматизированного контроля и управления непрерывных поточно-механизированных линий производства, с применением высокоэффективных интеллектуальных технологий [1].

Актуальность автоматизации технологических линий системой контроля качества заключается в необходимости поддержания постоянного контроля качества пищевой продукции, благодаря чему в значительной степени возрастает скорость, безошибочность и практичность проверки качества производимой молочной продукции. Благодаря автоматизированной системе контроля качества предприятия смогут изготавливать значительно более качественные продукты питания, снизить количество денежных средств, заторачиваемых на возврат и дальнейшую переработку бракованных продуктов, а также повысить конкурентоспособность производителя среди других брендов, производящих продукцию на основе молока.

Для проведения проверки качества готовой молочной продукции чаще всего используются электрохимические методы, такие как инверсионная вольтамперометрия, амперометрия, вольтамперометрия. На основе которых производятся анализаторы с использованием технологий компьютеров, которые используются для измерения антиоксидантной активности продуктов и определения содержания различных элементов.

Оборудование для проведения высокоэффективной жидкостной хроматографии (ВЭЖХ) основывается на распределении определяемых веществ между двумя фазами подвижной и неподвижной и позволяет определить в молочных и молочно-кислых продуктах количественное содержание антибиотиков, консервантов и других компонентов с токсичным воздействием [3].

Применение автоматизированного контроля качества готовой продукции так же необходимо по причине сложности, длительности и трудоёмкости методов для определения компонентов в молочно-кислой продукции. В следствии чего для быстроты, наглядности и более высокой точности показаний измерений в последнее время вместо ВЭЖХ применяют исследования при помощи реологических методов.

На сегодняшний день главной тенденцией в сфере автоматизации пищевых производств считается применение приспособляющихся производственных систем и автоматизированных технологий.

На производствах по изготовлению пищевой продукции, использующих автоматизированные поточные линии большинство параметров, которые определяют качество продук-

ции контролируются выборочно вручную, только меньше 10% параметров качества готовой продукции контролируются при помощи автоматизированных средств [2].

В наше время разработано много модификаций датчиков, используемых в контроле параметров для производства готовой продукции. Различные модификации датчиков основаны на различных принципах измерений таких как: индуктивные, ультразвуковые и оптические принципы измерения. В зависимости от начальных условий и оборудования, в которых будет работать датчики, выбирают датчик необходимой разновидности.

Системы машинного зрения развиваются и становятся одними из более значимых неразрушающихся, быстрых, экономичных, методичных и беспристрастных способов оценивания и контроля при производстве в пищевой индустрии. Данный принцип контроля основывается на диагностике, обработке фотографии проб готовой продукции, а так же нахождении сходств и различий изображения пробы с изображением эталонного готового продукта. Системы машинного зрения уже на сегодняшний день нашли большое применение в различных областях пищевой промышленности. Благополучно используется в анализе зерна, овощей, фруктов, рыбной и мясной продукции и в других видах продукции.

В качестве недорогой замены спектрофотометрами колориметрам возможно применить машинную систему зрения. В такой системе прибор фиксации изображения или же измерители применяются для воспроизведения и построения изображений проб.

Отдельные приборы, датчики, которые используют при построении изображения, включают устройства с зарядовой связью, считывающий прибор, ультразвуковые и другие методы спектроскопии. Изображение цветного формата обрабатывается при помощи программы, которая численно устанавливает значения цветового тона по определенной цветовой шкале.

Эти системы работают, захватывая изображение объекта, обрабатывая изображение для измерения желаемых параметров, сравнивая эти параметры с predetermined критериями проверки, а затем помогая принимать решения или предпринимая какие-либо корректирующие действия в отношении объекта или производственного процесса.

Образец находится рядом со световым объектом, где его изображение захватывается камерой и анализируется с помощью устройства захвата кадров. Потом, если он неисправен, он отклоняется или иным образом принимается. Вся система работает на системе анализа изображений. Все параметры в системе устанавливаются в соответствии с окончательным требованием к продуктам.

Недавние разработки в области машинного зрения и вспомогательных технологий привели к всеобщему признанию осуществимости и рентабельности внедрения систем визуального контроля в операциях по обеспечению качества на линиях по производству пищевых продуктов. Машинное зрение больше всего выиграло от увеличения вычислительных и запоминающих мощностей современных чипов, а также от появления мегапиксельных датчиков и устройств обработки изображений.

Технология машинного зрения использует методы обработки изображений с целью извлечения визуальных характеристик объекта для различных качественных, количественных и контрольных приложений. Технология используется в различных отраслях промышленности для автоматизации производства, увеличения скорости производства и выхода продукции, а также для улучшения качества продукции [5].

Библиографический список

1. Благовещенский И.Г. Методологические основы создания экспертных систем контроля и прогнозирования качества пищевой продукции с использованием интеллектуальных технологий – г. Москва – 2018 – С. 443
2. Булгакова В. П., Кривопалова С. Е., Польшакова Н. В. Применение автоматизированных информационных систем управления на предприятиях пищевой промышленности // Молодой ученый. — 2016. — № 27. — С. 18–20.
3. Карелина Е.Б., Ли Минь Ханг Автоматизация процесса производства йогурта / Е.Б. Карелина, Ли Минь Ханг — Текст : непосредственный // Статья в сборнике трудов конференции — 2016— С. 98-103.
- 4.Хлебенских, Л. В. Автоматизация производства в современном мире / Л. В. Хлебенских, М. А. Зубкова, Т. Ю. Саукова. — Текст : непосредственный // Молодой ученый. — 2017. — № 16 (150). — С. 308-311.
5. Ashwin Judal, A. G. Bhadania Automation in Dairy and Food Processing Industry, Department of Dairy Engineering, SMC College of Dairy Science, Anand Agricultural University, India – 2015 –С. 490 – 495

УДК 004.92, 004.94; ГРНТИ 50.51.02

К ВОПРОСУ СОЗДАНИЯ МИНИ-САПР ФОРМИРОВАНИЯ 3D-МОДЕЛЕЙ МАШИНОСТРОИТЕЛЬНЫХ ДЕТАЛЕЙ ДЛЯ ДАЛЬНЕЙШЕЙ ИНТЕГРАЦИИ С САПР- И САМ-СИСТЕМАМИ

О.В. Миловзоров*, Н.В. Грибов**, С.М. Шитова***

*Рязанский государственный радиотехнический университет
имени В.Ф. Уткина*

*Рязань, *milovzorov_542@inbox.ru, **gribov112@yandex.ru, ***schitova.sofia@gmail.ru*

Аннотация. В данной работе рассматривается вопрос использования параметрических систем трехмерного твердотельного моделирования САД 3D для разработки узко специализированных мини-САПР проектирования 3D-моделей конструктивно-подобных машиностроительных деталей, а также формирования информационных моделей таких деталей для дальнейшей интеграции с системами автоматизированного проектирования маршрутно-операционных технологических процессов изготовления таких деталей. Предлагается методика и принципы формирования мини-САПР на базе универсальной отечественной системы T-Flex CAD 3D. Рассматриваются примеры возможной реализации мини-САПР для отдельных видов деталей.

Ключевые слова: T-Flex CAD, конструктивно-подобные детали, информационная модель детали, параметрические 3D-модели, мини-САПР.

TO THE ISSUE OF CREATION OF MINI-CAD SYSTEMS FOR FORMATION OF MACHINE-BUILDING PARTS 3D-MODELS FOR FURTHER INTEGRATION WITH CAPP-SYSTEMS

O.V. Milvovzorov*, N.V. Gribov**, S.M. Shitova***

*Ryazan State Radio Engineering University named after V.F. Utkin
Ryazan, milovzorov_542@inbox.ru, schitova.sofia@gmail.ru*

Annotation. This paper discusses the issue of using parametric systems of 3D solid CAD 3D modeling for the development of narrowly specialized mini-CAD systems for the design of 3D models of structurally similar machine-building parts, as well as the formation of information models of such parts for further integration with computer-aided design systems of route-operational technological processes for the manufacture of such parts. The method and principles of forming mini-CAD based on the universal domestic T-Flex CAD 3D system are proposed. Examples of possible implementation of mini-CAD for individual types of parts are considered.

Keywords: T-Flex CAD, structurally similar parts, information model of part, parametric 3D models, mini-CAD systems.

Введение

В современном машиностроительном производстве ведущее место занимает 3D-модель детали. Она обеспечивает расчет инерционно-массовых характеристик, расчет на-

пряженно-деформированного состояния под воздействием предполагаемых в процессе эксплуатации нагрузок, разработку управляющей программы для обработки на станках или обрабатывающих центрах с ЧПУ. Наконец, сборочная модель изделия в целом и ее анимационное моделирование выполняется на основе составляющих 3D-моделей деталей и узлов. В этой связи становится актуальным ускорение процесса проектирования 3D-моделей отдельных деталей. Современные параметрические системы трехмерного твердотельного моделирования представляют пользователям богатый инструментарий для создания 3D-моделей самых сложных машиностроительных деталей. Благодаря параметризации обеспечивается достаточно простой и быстрый процесс их редактирования и получения модификаций моделей деталей. На основе базовых 3D-моделей в параметрических системах осуществлена разработка целых библиотек простых стандартных деталей - таких, как крепежные болты, винты, гайки, шпильки, шпильники, а также более сложных, например, фитингов. Отдельные модификации таких деталей реализуются путем присвоения основным конструктивным параметрам, которые, как правило, заданы ГОСТом, соответствующих численных значений, взятых из внутренней базы данных. Любые другие детали, даже самые простые, но не ГОСТированные, конструктор-разработчик обычно формирует с нуля.

Мини-САПР на основе комплексных деталей. Информационные модели

В этой связи становится актуальной разработка мини-САПР формирования 3D-моделей типовых конструктивно подобных деталей, отличающихся теми или иными конструктивными особенностями, но в целом имеющих типовую форму. Наиболее подходящей для создания таких мини-САПР является отечественная система T-Flex CAD 3D. 3D-модели таких деталей целесообразно формировать на основе более сложных 3D-моделей комплексных деталей. Такие комплексные детали следует рассматривать с точки зрения их дальнейшей технологии обработки в виде базового конструктива и набора элементов конструктивного обогащения [3-5]. Базовый конструктив представляет собой набор основных формообразующих поверхностей, элементы конструктивного обогащения не вносят в конструкцию детали кардинальных изменений ее формы, а представляются, как дополнительные элементы, уточняющие ее конструкцию.

Для формального описания необходима информационная модель комплексной детали. В случае деталей типа «тело вращения» базовый конструктив детали может быть описан в виде множества базовых поверхностей – цилиндрических и торцовых [2]

$$B = S_{tl} + S_{tr} + \bigcup_{i=1}^I S_{cexi} + \bigcup_{j=1}^J S_{cinj},$$

где S_{tl} , S_{tr} , S_{cexi} , S_{cinj} – торцевая левая, торцевая правая, i -я цилиндрическая внешняя и j -я цилиндрическая внутренняя поверхности, соответственно;

I и J – общее количество цилиндрических внешних и внутренних поверхностей, соответственно.

Для интеграции с технологической системой разработки маршрутно-операционной технологии, а также дальнейшей разработки управляющей программы обработки детали на станке с ЧПУ, модель удобно представить набором упорядоченных кортежей поверхностей, где порядок нумерации поверхностей соответствует порядку выполнения соответствующих технологических переходов:

$$B = \langle C_{ln} C_{ln-1} \dots C_{l1} C_{r1} C_{r2} \dots C_{rm} \rangle, \quad (1)$$

где $C_{ln}, C_{ln-1}, \dots, C_{l1}$ – левые цилиндрические поверхности, где номер поверхности соответствует очереди ее обработки для соответствующей установки детали в патроне, n – общее количество левых поверхностей у детали;

$C_{r1}, C_{r2}, \dots, C_{rm}$ – правые цилиндрические поверхности, m – общее количество правых поверхностей у детали;

C_{r1} – цилиндрическая поверхность с наибольшим диаметром, с которой начинается процесс обработки, ей присвоен индекс первой правой цилиндрической поверхности.

Каждый элемент кортежа C_{ri}, C_{li} в свою очередь описывается кортежем конструктивно-технологических параметров:

$$C_{ki} = \langle p_1 p_2 \dots p_p \rangle.$$

Порядок следования параметров p_i должен быть определен заранее с тем, чтобы технологическая система могла отнести численное значение тому или иному конструктивно-технологическому параметру, например

p_1 – диаметр D ;

p_2 – поле допуска;

p_3 – шероховатость Sh ;

p_4 – длина L ;

p_5 – поле допуска на длину;

p_6 – допуск формы и расположения поверхностей.

Возможен ввод дополнительных параметров в кортеж C_{ki} , если в соответствии с техническими требованиями нужно дать указания по технологии изготовления - вид термообработки, твердость, указания по финишной обработке (шлифовать, полировать, и пр.).

Элементы конструктивного обогащения также целесообразно описывать кортежами, привязанными к соответствующим цилиндрическим поверхностям, и в случае тел вращения их будет два – для правых и левых поверхностей:

$$O_{lk} = \begin{vmatrix} f_1 & g_1 & r_1 & k_1 & h_1 \\ f_2 & g_2 & r_2 & k_2 & h_2 \\ \dots & \dots & \dots & \dots & \dots \\ f_n & g_n & r_n & k_n & h_n \end{vmatrix}, \quad O_{lk} = \begin{vmatrix} f_1 & g_1 & r_1 & k_1 & h_1 \\ f_2 & g_2 & r_2 & k_2 & h_2 \\ \dots & \dots & \dots & \dots & \dots \\ f_n & g_n & r_n & k_n & h_n \end{vmatrix}, \quad (2)$$

где f_i – кортеж фаски (facet) на цилиндрической поверхности i , $f_i = \langle L_i F_i \rangle$;

g_i – кортеж канавки под выход шлифовального круга (groove) на цилиндрической поверхности i , $g_i = \langle G_i B_i \rangle$;

r_i – кортеж канавки кольцевой (ringgroove) на цилиндрической поверхности i , $r_i = \langle G_i B_i A_i \rangle$;

k_i – кортеж шпоночного паза (keyway) на цилиндрической поверхности i , $k_i = \langle G_i B_i L_i A_i \rangle$;

h_i – кортеж отверстия поперечного (hole) на цилиндрической поверхности i , $h_i = \langle D_i A_i \rangle$;

Подобный подход можно использовать и для формирования информационных моделей корпусных деталей. В этом случае поверхности можно классифицировать на следующие типы:

- верхние плоские поверхности, обрабатываемые, как правило, торцевой фрезой;
- боковые плоские поверхности, обрабатываемые концевой фрезой в том же установе;

- карманы – сочетание внутренней плоской поверхности (дно) и боковых поверхностей (стенки), обрабатываемых концевой фрезой с соответствующим ступенчатым врезанием – спиральным, плунжерным, маятниковым или контурным и выборкой материала на каждом шаге глубины врезания.

Карманы могут содержать в себе выступы – бобышки, в этом случае они формируются путем ввода в основной контур кармана островков.

Данные поверхности формируют базовый конструктив корпусной детали и выполняются в одном установе, реализующем черновую, при необходимости - получистовую и чистовую обработку с получением основной формы детали. При этом основным типом обработки детали является 2,5D-фрезерование.

Конструктивным обогащением корпусной детали могут быть различные отверстия, группы отверстий одного диаметра (это существенно, т.к. такие группы выполняются одним и тем же инструментом), проточки, углубления, нарезаемые резьбы, которые также следует группировать в зависимости от диаметра и способа выполнения отверстия – метчиком или резьбофрезерованием.

Принципы построения 3D-моделей комплексных деталей

Далее возникает вопрос формирования самой 3D-модели детали. Поскольку основой для мини-САПР является 3D-модель комплексной детали, из которой для формирования 3D-модели конкретной детали должны исключаться "лишние" конструктивные элементы, необходим строгий порядок формирования 3D-модели с построением параметрических связей между ранее введенными элементами и вновь вводимыми. Модель должна обеспечивать исключение лишних элементов при введении нулевых значений параметров исключаемых элементов. При этом в параметрических системах всегда есть опасность вырождения модели при недопустимых значениях параметров. Рассмотрим этот процесс на примере тел вращения.

Для тел вращения базовый конструктив комплексной детали целесообразно формировать на основе вращаемого вокруг своей оси контура [1], при этом построение контура следует выполнять таким образом, чтобы каждая вновь вводимая ступень вала опиралась на построения предыдущей. При этом, если диаметральные размеры, выполняемые как правило относительно оси, могут быть независимы от предыдущих построений, то линейные размеры каждой последующей ступени следует выполнять относительно предыдущей. При таком построении контура удаление из комплексной детали лишних ступеней реализуется путем присвоения соответствующим параметрам – длине и диаметру ступени комплексной детали – нулевых значений. Любой другой способ приведет к некорректной геометрии и вырождению 3D-модели. При этом важно, чтобы все участвующие в построении модели параметры были оформлены переменными, которым в процессе формирования модификации детали с исключением каких-либо конструктивных элементов можно было присвоить нулевые значения с соответствующим удалением из модели исключаемых элементов.

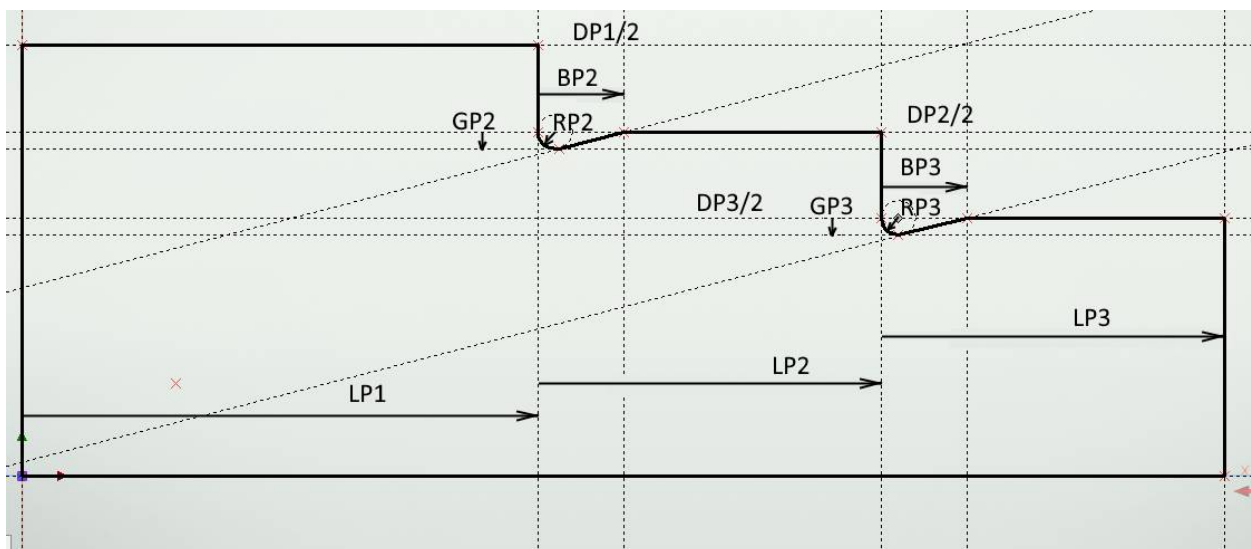


Рис. 1. Параметрические связи при формировании линий построения контура тела вращения

На рисунке 1 показаны параметрические связи между элементами построения контура тела вращения «вал» на примере его правой части:

- диаметральные размеры DP имеют параметрическую привязку к оси;
- линейный размер ступени LP по оси Z строится относительно края предыдущей ступени;
- канавка формируется через глубину GP , измеряемую относительно ближайшего большего диаметра;
- радиус скругления канавки строится как окружность, касающаяся линии глубины и края большей ступени.

Фаски комплексной детали также строятся параметрически с использованием команды «фаска» и параметром LFP с номером соответствующей ступени.

На рисунке 2 показаны сформированное 3D-тело фрагмента комплексной детали (а) и модифицированная модель с обнулением параметров отсутствующей третьей правой ступени вала (б).

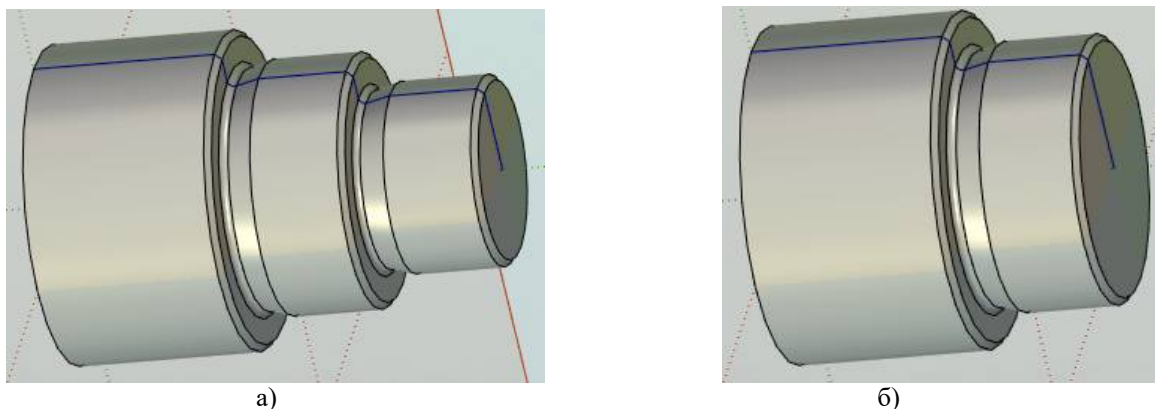


Рис. 2. Фрагмент комплексной детали (а) и модифицированная модель с удалением 3-й ступени (б)

Такие конструктивные элементы, как отверстия, можно формировать различными способами – черчением его профиля с последующим вращением и вычитанием, или с помощью операции «Отверстие». Важно, чтобы в дальнейшем использовалась операция формирования массива с параметрическим заданием количества и схемы расположения отверстий. В T-Flex CAD 3D возможны создание линейных и круговых массивов, при этом можно зада-

вать количество копируемых элементов. Таким образом, можно параметрически задать окружность, на которой располагаются отверстия, или другой массив с указанием количества отверстий. Этот прием можно использовать при создании 3D-модели такой комплексной детали, как фланец, у которой при наличии типовой формы в зависимости от габаритов, условий эксплуатации, количество отверстий может быть переменным. На рисунке 3 показаны две модификации детали "фланец", выполненные на основе одной параметрической 3D-модели.

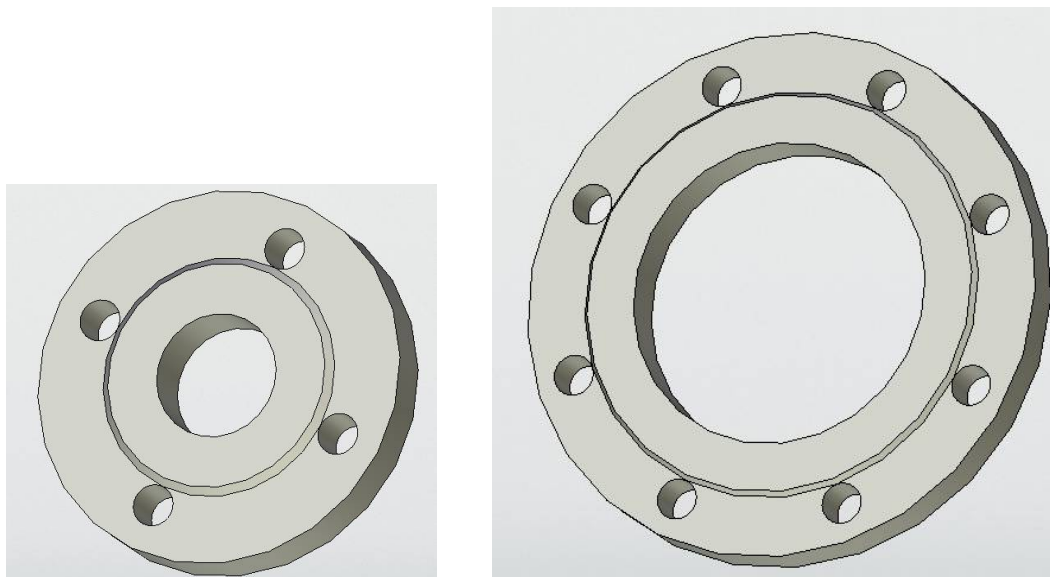


Рис. 3. Модификации детали "фланец", выполненные автоматически на основе 3D-модели

Выводы

Разработанная методика выполнения мини-САПР на основе комплексных деталей в системе T-Flex CAD 3D позволяет реализовывать различные мини-САПР для автоматического формирования 3D-моделей конструктивно-подобных деталей, которые в сочетании с информационной моделью обеспечивают интеграцию CAD, CAM и CAPP систем по сквозному автоматизированному проектированию конструкторской и технологической документации конструктивно-подобных деталей.

Библиографический список

1. . 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 Всерос. науч.-техн. конф. (Рязань, 27-29 декабря 2021 г.). Рязань: РГРТУ, 2021. Рязанский государственный радиотехнический университет. 2021. С. 383-390.
2. Миловзоров О.В., Грибов Н.В. К вопросу формирования типовых 3D-моделей деталей типа «Вал» для дальнейшей интеграции с CAPP-системой // Современные технологии в науке и образовании – СТНО-2021. Рязань: Рязан. гос. радиотехн. ун-т, 2021. С. 116-121.
3. Миловзоров О.В. Реализация принципов синтеза технологических процессов из обобщенной структуры на базе системы T-FLEX Технология / Вестник Рязанского государственного радиотехнического университета. 2015. № 54-1. С. 133-138.
4. Миловзоров О.В., Тарабрин Д.Ю. Обобщенная структура как средство автоматизированного проектирования маршрутно-операционных технологических процессов // Вестник РГРТУ. 2014. № S1. С. 59-66.
5. Миловзоров О.В. Особенности автоматизированного проектирования маршрутно-операционных технологических процессов в системе T-FLEX Технология // Современные технологии в науке и образовании - СТНО-2016: сб. тр. межд. науч.-техн. конф: в 4 т. Т.6. (Рязань, 28 февраля – 2 марта 2016 г.). Рязань: РГРТУ, 2016.: в 4 томах. Рязанский государственный радиотехнический университет. 2016. С. 178-182.

УДК 004.92, 004.94; ГРНТИ 50.51.0

МИНИ-САПР ФОРМИРОВАНИЯ 3-D МОДЕЛЕЙ ДЕТАЛЕЙ ТИПА "ТЕЛО ВРАЩЕНИЯ" НА ОСНОВЕ СИСТЕМЫ T-FLEX CAD 3D

О.В. Миловзоров*, Н.В. Грибов, С.М. Шитова*****

Рязанский государственный радиотехнический университет

имени В.Ф. Уткина

*Рязань, *milovzorov_542@inbox.ru, **gribov112@yandex.ru, ***schitova.sofia@gmail.ru*

Аннотация. В данной работе дается описание параметрической системы разработки 3D-моделей машиностроительных деталей типа "тело вращения", выполненной на базе отечественной параметрической системы трехмерного твердотельного моделирования T-Flex CAD 3D. Подобные системы могут быть отнесены к классу мини-САПР. Система обеспечивает автоматическое формирование 3D-моделей многоступенчатых валов, включая канавки под выход шлифовального круга, на основе комплексной детали и информационной модели конкретного вала.

Ключевые слова: T-Flex CAD, тела вращения, информационная модель детали, параметрические 3D-модели, мини-САПР.

MINI CAD SYSTEM FOR 3-D MODELLING OF "BODY OF REVOLUTION" TYPE PARTS BASED ON T-FLEX CAD 3D SYSTEM

O.V. Milvovzorov*, N.V. Gribov, S.M. Shitova*****

Ryazan State Radio Engineering University named after V.F. Utkin

Ryazan, milovzorov_542@inbox.ru, schitova.sofia@gmail.ru

Annotation. This paper describes the 3D Model Development System for Mechanical Engineering Parts of the "Body of Revolution" type based on the T-Flex CAD 3D Solid Modeling System. Such systems can be classified as mini-CAD. The system provides automatic formation of 3D models of multi-stage shafts, including grooves for the exit of the grinding wheel, based on a complex part and an information model of a specific shaft.

Keywords: T-Flex CAD, Body of Revolution, information model of part, parametric 3D models, mini-CAD systems.

В современном машиностроительном производстве центральное место занимают системы САПР, обеспечивающие оперативную и качественную разработку конструкторско-технологической документации. Среди на первое место выходят системы трехмерного твердотельного моделирования поскольку 3D-модель детали на сегодняшний день стала основой для всех дальнейших этапов жизненного цикла любого машиностроительного изделия, включая необходимые расчеты и собственно производство. Унифицированные системы класса САД благодаря своему функционалу существенно ускорили процесс создания конструкторско-технологической документации, тем не менее, сокращение сроков ее разработки продолжает оставаться актуальной задачей. В этой связи становится актуальной разработка на основе параметрических 3D САД систем специализированных мини-САПР, обеспечивающих автоматическое формирование 3D-моделей типовых машиностроительных деталей, имеющих схожую форму и отличающихся отдельными конструктивными особенностями. К последним относятся детали типа "тело вращения" и, в частности, многоступенчатые валы.

В [1, 2] были рассмотрены основные теоретические основы создания мини-САПР для формирования деталей типа "тело вращения". В настоящей работе приведем подробное описание конкретной мини-САПР, ориентированной на автоматическое формирование 3D модели многоступенчатого вала и ее практическую реализацию на основе отечественной системы трехмерного твердотельного моделирования T-Flex CAD 3D.

Принцип формирования 3D-тела конкретной конструкции вала основан на исключении из 3D-модели комплексной детали - многоступенчатого вала (рис. 1) "лишних" ступеней и конструктивных элементов - канавок под выход шлифовального круга, фасок и шпоночных пазов и назначении оставшимся элементам требуемых размеров. Такой подход соответствует

методу синтеза конкретного технологического процесса на основе обобщенной структуры [3-5], адаптированному для синтеза конструкции многоступенчатого вала.



Рис. 1. Чертеж комплексной детали - пятиступенчатого вала

Каждая ступень вала содержит канавку, фаску (ступень самого большого диаметра - две) и шпоночный паз. Естественно, что у реальной детали такого количества шпоночных пазов быть не может, они нужны, чтобы обеспечить их наличие на любой ступени конкретного вала с исключением ненужных.

Формирование тела вращения реализуется с помощью операции "Вращение" полу-контура вала относительно оси. При этом возможно как одноконтурное, так и двухконтурное формирование. В последнем случае на одной рабочей плоскости формируются два контура разными цветами - для правых ступеней и левых ступеней вала. Термины "правая" и "левая" соответствуют обработке у вала его правой части и после переустановки заготовки в патроне - левой части. Примем, что после установки в патроне заготовки детали (рис. 1) будут начисто обработаны две крайние справа цилиндрические поверхности, а наибольший диаметр и все оставшиеся слева ступени обрабатываются после переустановки заготовки в патроне. Тогда правыми будут две ступени, а левыми - три. Их нумерация соответствует порядку их формирования в процессе точения - от больших диаметров к меньшим, т.е., чем меньше диаметр ступени, тем позже будет получен его окончательный размер и тем больше его номер.

У параметрической модели в отличие от непараметрической (построенной, например, в системе AutoCAD) исключение отдельных элементов в случае некорректно построенной модели может привести к ее вырождению. Поэтому модель комплексной детали должна выполняться в строгой последовательности, с соблюдением параметрических связей между строящимися элементами. В частности, все вертикальные линии, соответствующие границам ступеней вала - правым, или левым, строятся относительно ранее построенной ступени: самой первой формируется ступень наибольшего диаметра, затем относительно нее строятся прилегающие правая и левая - в случае одноконтурной модели, относительно этих ступеней - правая и левая ступени меньшего диаметра.

Для каждого элемента детали обязательно создается переменная, которой в случае отсутствия данного элемента присваивается нулевое значение. Это приводит к некоторой избыточности набора переменных, особенно, если элементы детали типовые, как, например, одинаковые фаски на всех ступенях, обозначаемые на чертежах типовой надписью ("4 фаски 1x45"). Избежать этого, однако, нельзя, т.к. в противном случае отсутствует возможность удалить у комплексной детали лишние конструктивные элементы.

Таким образом, всем ступеням, за исключением ступени с наибольшим диаметром, будет соответствовать следующий набор параметров и соответствующих им переменных:

- параметры ступени – диаметр D , длина L ;
- параметры канавки – глубина G , ширина B , радиус R ;
- параметры фаски – длина фаски LF , угол фаски UF ;
- параметры паза – глубина GP , ширина BP , длина LP , расстояние края паза от края ступени вала LKP .

У ступени наибольшего диаметра канавка отсутствует, а фасок - две.

Кроме символов, соответствующих обозначению конструктивного элемента, в полном обозначении переменной еще присутствуют символы Р или L для обозначения "правая или "левая" и номер ступени.

Технология вырезания шпоночных пазов может быть различной, но на большинстве обрабатывающих токарных центров такая обработка может выполнена концевой фрезой при закреплении детали в патроне. Исходя из этой типовой технологии будем формировать 3D-модель вала. В этом случае порядок формирования пазов в 3D модели будет следующим:

- предварительное формирование рабочей плоскости на расстоянии от оси детали, равном радиусу соответствующей ступени, т.е. $D/2$, уменьшенному на глубину паза GP;
- формирование контура паза с параметрами BP, LP, LKP (рис. 2);

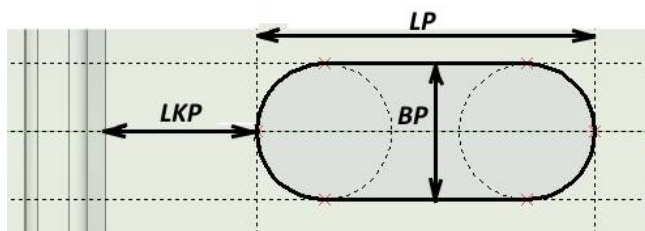


Рис. 2. Формирование контура шпоночного паза

- выталкивание контура паза на расстояние, соответствующее его глубине GP;
- вычитание полученного тела из тела вала.

Любая система САПР должна иметь возможность ввода пользовательских параметров. В нашем случае - это значения конструктивных параметров ступеней вала. Для этой цели в системе T-Flex CAD 3D предусмотрено формирование диалогового окна, после заполнения которого данными численные значения соответствующих переменных обновляются, при этом оставшиеся переменные остаются со значениями, заданными при формировании мини-САПР, что автоматически приведет к искажению 3D модели. Как уже отмечалось, формирование модели выполняется таким образом, чтобы при нулевых значениях параметров конструктивный элемент исчезал. Чтобы обнулить параметры отсутствующих конструктивных элементов используется элемент интерфейса чекбокс. Проставляя соответствующие галочки, пользователь определяет состав конструктивных элементов будущей 3D-модели многоступенчатого вала (рис. 3).



Рис. 3. Фрагмент интерфейса для ввода параметров канавок

Как видно из рисунка 3, при установке соответствующего чекбокса в ноль сами значения конструктивных элементов, заданные при создании мини-САПР, не обнуляются, однако в самой модели формирование всех линий построения увязано с логическими переменными, значения которых определяются соответствующими элементами чекбокс. Так, например, параметры линий построения канавки 3 при формировании 3D-модели комплексной детали были выполнены следующим образом (рис. 4).



Рис. 4. Параметрические связи при формировании канавки:
 прямая глубины канавки - $D/2 - G * Xp3 * Ap3$; прямая ширины канавки - $L2 + B * Xp3 * Ap3$;
 радиусы канавок - $R * Xp3 * Ap3$; $Xp3$ - лог. переменная чекбокс 3 ступени;
 $Ap3$ - лог. переменная чекбокс канавки у третьей ступени

Как видно, при отсутствии ступени, или данного конструктивного элемента на ступени все параметры элемента обнуляются, а сам элемент исчезает.

На рисунке 5 представлены различные варианты моделей многоступенчатых валов, автоматически построенные с помощью мини-САПР.

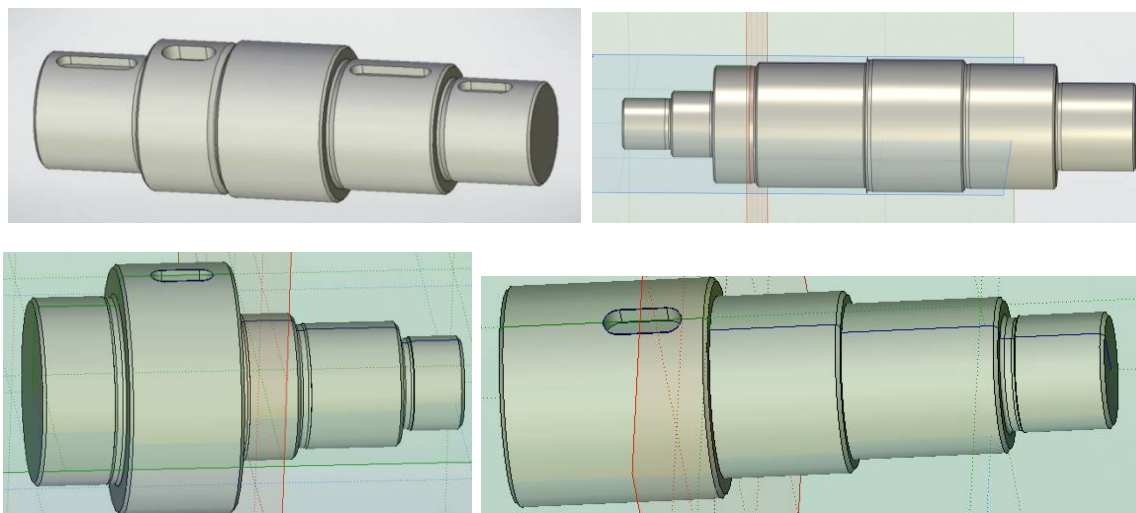


Рис. 5. Различные варианты конструкции многоступенчатых валов, автоматически сформированных в мини-САПР

Выводы

Разработана мини-САПР проектирования 3D-моделей многоступенчатых валов, обеспечивающая автоматическое формирование различных модификаций конструкции вала путем задания в диалоговом окне конфигурации конструктивных элементов и ввода соответствующих численных значений параметров.

Библиографический список

1. . 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 Всерос. науч.-техн. конф. (Рязань, 27-29 декабря 2021 г.). Рязань: РГРТУ, 2021. Рязанский государственный радиотехнический университет. 2021. С. 383-390.
2. Миловзоров О.В., Грибов Н.В. К вопросу формирования типовых 3D-моделей деталей типа «Вал» для дальнейшей интеграции с САРР-системой // Современные технологии в науке и образовании – СТНО-2021. Рязань: Рязан. гос. радиотехн. ун-т, 2021, стр. 116-121.
3. Миловзоров О.В. Реализация принципов синтеза технологических процессов из обобщенной структуры на базе системы T-FLEX Технология / Вестник Рязанского государственного радиотехнического университета. 2015. № 54-1. С. 133-138.
4. Миловзоров О.В., Тарабрин Д.Ю. Обобщенная структура как средство автоматизированного проектирования маршрутно-операционных технологических процессов // Вестник РГРТУ. 2014. № S1. С. 59-66.
5. Миловзоров О.В. Особенности автоматизированного проектирования маршрутно-операционных технологических процессов в системе T-FLEX Технология // Современные технологии в науке и образовании - СТНО-2016: сб. тр. межд. науч.-техн. конф: в 4 т. Т.6. (Рязань, 28 февраля – 2 марта 2016 г.). Рязань: РГРТУ, 2016.: в 4 томах. Рязанский государственный радиотехнический университет. 2016. С. 178-182.

УДК 656.01; ГРНТИ 73.43.01

АВТОМАТИЗАЦИЯ ПРОЦЕССА ГЕНЕРАЦИИ И ОЦЕНКИ СЦЕНАРИЕВ РАЗВИТИЯ ГОРОДСКОЙ ТРАНСПОРТНОЙ СИСТЕМЫ НА ОСНОВЕ КРИТЕРИЯ ЭФФЕКТИВНОСТИ

А.П. Беев*, Ю.А. Меркулов**

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

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

Аннотация. В работе предлагаются методы автоматизированной генерации вариантов развития городской транспортной системы на основе критерия эффективности, а также методика сравнения разных сценариев развития городской транспортной системы на основе критерия эффективности.

Ключевые слова: городская транспортная система, эффективность городской транспортной системы, методы генерации и оценки сценариев.

AUTOMATION OF THE PROCESS OF GENERATION AND EVALUATION OF URBAN TRANSPORT SYSTEM DEVELOPMENT SCENARIOS BASED ON CREE-TERIUM EFFICIENCY

A.P. Beev*, Y.A. Merkulov**

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

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

The summary. The paper proposes methods of automated generation of variants of the urban transport system on the basis of the efficiency criterion, as well as a method of comparing different scenarios for the development of the urban transport system on the basis of the efficiency criterion.

Keywords: urban transport system, efficiency of urban transport system, methods of generation and evaluation of scenarios

Транспортная система является одной из основных систем современного крупного города, обеспечивающая не только комфортные условия проживания его жителей, но и создающая потенциал его социально-экономического развития. Вместе с тем, в процессе принятия управленческих решений в данной сфере, существует проблема генерации и оценки сце-

нариев развития, которые предполагается реализовать. Данные сценарии должны быть научно обоснованными, объективными и быть направлены на общее улучшение функционирования транспортного комплекса города. Таким образом, возникает проблематика разработки способов автоматизации разработки такого рода сценариев.

Эффективность городской транспортной системы может являться интегральным критерием оценки процесса управления в данной социально-экономической системе. Определение эффективности городской транспортной системы основывается на процессе сравнения фактического состояния элементов транспортной системы с их эталонным состоянием. Учитывая данный подход, можно предложить следующие способы генерации сценариев развития транспортной системы города, обеспечивающих повышение ее эффективности.

1. Максимальный. В основе данного метода лежит принцип максимальной свертки, согласно которому определяется элемент транспортной системы, имеющий наименьшую оценку (наибольшее отклонение от эталонного значения показателя). Согласно данному методу, мероприятия, в первую очередь, разрабатываются для улучшения состояния именно данного элемента. При этом необходимо учитывать уровень значимости данного элемента. Если элемент, имеющий наименьшую оценку имеет незначительный уровень значимости, то выбирается другой элемент, обладающий более высоким уровнем значимости, но малым уровнем оценки.

2. Ранговый. Сущность данного метода заключается в ранжировании элементов транспортной системы по оценке их состояния, с целью определения очередности реализации мероприятий по реконструкции и развитию транспортной системы. Наибольший ранг присваивается элементу, имеющему наименьшую оценку, наименьший – имеющему наибольшую оценку.

3. Долевой. Данный метод применим для определения долей расходования средств при комплексных программах развития городской транспортной инфраструктуры. Согласно данному методу определяется мера отклонения оценки состояния элемента транспортной системы от эталона по формуле (1):

$$OT = 1 - x_i, \quad (1)$$

где OT - отклонение оценки элемента от эталона.

Затем находится взвешенная оценка отклонения от эталона, путем определения произведения отклонения на весовой коэффициент значимости данного элемента.

На следующей итерации определяется доля расходования средств на развитие каждого рассматриваемого элемента путем нахождения частного взвешенного отклонения и суммы всех взвешенных отклонений.

Табл. 14. Результаты расчетов доли расходования средств

№	Элемент	Взвешенное отклонение	Доля расходов
1	Узлы	0,0448	0,096
2	Отрезки	0,049	0,105
3	Остановочные комплексы	0,012	0,026
4	Парковки	0,0938	0,2
5	Пешеходные переходы	0,01	0,021
6	Маршрутная сеть	0,057	0,122
7	Остановочная сеть	0,053	0,113
8	Расписание движения общественного транспорта	0,1134	0,242
9	Подвижной состав	0,035	0,075

Для выявления наилучшего метода проведем их сравнение на примере состояния элементов транспортной системы города Рязани (оценка произведена Научно-образовательным центром Транспортных проблем РГРТУ). Оценка состояния элементов и уровень их значимости приведены в таблице 1.

Таблица 1. Результаты оценки состояния элементов транспортной системы г. Рязани

№	Элемент	Оценка состояния	Коэффициент значимости
1	Узлы	0,68	0,14
2	Отрезки	0,65	0,14
3	Остановочные комплексы	0,76	0,05
4	Парковки	0,33	0,14
5	Пешеходные переходы	0,8	0,05
6	Маршрутная сеть	0,43	0,1
7	Остановочная сеть	0,47	0,1
8	Расписание движения общественного транспорта	0,19	0,14
9	Подвижной состав	0,75	0,14

Согласно максимумному методу, для города Рязани, необходимо вкладывать средства в организацию дополнительных парковочных мест, так как данный элемент обладает наименьшей оценкой (0,19) и наибольшим коэффициентом значимости (0,14).

Результаты применения рангового метода приведены в таблице 2.

Табл. 2. Результаты применения рангового метода

№	Элемент	Ранг
1	Узлы	6
2	Отрезки	5
3	Остановочные комплексы	8
4	Парковки	2
5	Пешеходные переходы	9
6	Маршрутная сеть	3
7	Остановочная сеть	4
8	Расписание движения общественного транспорта	1
9	Подвижной состав	7

Согласно данному методу, очередность расходования средств следующая:

- 1). Совершенствование расписания движения городского общественного пассажирского транспорта.
- 2). Увеличение количества парковочных мест.
- 3). Расширение маршрутной сети городского общественного пассажирского транспорта.
- 4). Расширение остановочной сети.
- 5). Увеличение пропускной способности отрезков улично-дорожной сети.
- 6). Увеличение пропускной способности узлов улично-дорожной сети.
- 7). Обновление парка подвижного состава муниципальных перевозчиков.
- 8). Благоустройство остановочных комплексов.
- 9). Увеличение количества пешеходных переходов.

Результаты использования долевого метода, применительно к транспортной инфраструктуре города Рязани приведены в таблице 3.

Таблица 3. Результаты применения долевого метода

№	Элемент	Оценка	Веса	Отклонение	Взвешенное отклонение
1	Узлы	0,68	0,14	0,32	0,0448
2	Отрезки	0,65	0,14	0,35	0,049
3	Остановочные комплексы	0,76	0,05	0,24	0,012
4	Парковки	0,33	0,14	0,67	0,0938
5	Пешеходные переходы	0,8	0,05	0,2	0,01
6	Маршрутная сеть	0,43	0,1	0,57	0,057
7	Остановочная сеть	0,47	0,1	0,53	0,053
8	Расписание движения общественного транспорта	0,19	0,14	0,81	0,1134
9	Подвижной состав	0,75	0,14	0,25	0,035

Согласно результатам расчета по данному методу, при реализации комплексных программ развития транспортной инфраструктуры города Рязани наибольшее количество средств необходимо выделить на оптимизацию расписания движения городского общественного пассажирского транспорта, увеличение количества парковочных мест, расширение маршрутной и остановочных сетей, увеличения пропускной способности узлов и отрезков.

Все рассматриваемые варианты расходования средств на реконструкцию и развитие городской транспортной инфраструктуры дают согласованные результаты, согласно которым первоочередные капиталовложения необходимы в сфере обеспеченности парковочными местами, расписания движения городского общественного пассажирского транспорта, парка подвижного состава муниципальных перевозчиков, увеличение пропускной способности узлов и отрезков улично-дорожной сети. Данные мероприятия являются глубоко взаимосвязанными, поскольку оптимизация расписания движения транспортных единиц городского общественного пассажирского транспорта наилучшим образом достигается, либо при организации выделенных полос для движения общественного транспорта, либо при сокращении количества личного индивидуального транспорта на улицах города.

Оценка различных сценариев развития городской транспортной системы должна осуществляться по следующей методике:

1. Определяется, какие элементы городской транспортной системы будут затронуты при реализации данного сценария.
2. Осуществляется прогнозирование состояния элементов транспортной системы, которые затрагиваются реализацией данного сценария.
3. Оценивается новая степень соответствия состояния элемента транспортной системы его эталонному значению.
4. Производится общая оценка эффективности с учетом нового состояния всех элементов.
5. Наиболее пригодным к реализации признается тот сценарий, который обеспечивает наибольшее увеличение эффективности городской транспортной системы.

Таким образом, предложена методика генерации сценариев развития и оценки разработанных вариантов развития городской транспортной системы на основе критерия эффективности. Наличие данных методик позволит принимать решения по развитию транспортной системы города в автоматизированном или полуавтоматизированной режиме, обеспечивая объективность и научную обоснованность принимаемых решений.

УДК 656.01; ГРНТИ 73.43.01

РАЗРАБОТКА СТРУКТУРНО-ФУНКЦИОНАЛЬНОЙ МОДЕЛИ ГОРОДСКОЙ ТРАНСПОРТНОЙ СИСТЕМЫ

Ю.А. Меркулов

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

Аннотация. В работе разрабатываются структурная и структурно-функциональная модели городской транспортной системы. Проводится параметрический анализ структурных элементов данной модели.

Ключевые слова: городская транспортная система, структурная модель, структурно-функциональная модель, параметрический анализ.

DEVELOPMENT OF STRUCTURAL AND FUNCTIONAL MODEL OF URBAN TRANSPORT SYSTEM

Y.A. Merkulov

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

The summary. The paper develops structural and structural-functional models of the urban transport system. Parametric analysis of structural elements of this model is carried out.

Keywords: urban transport system, structural model, structural-functional model, parametric analysis.

В настоящее время существует достаточно большое количество определений понятия городской транспортной системы, каждое из которых содержит определенный перечень элементов, входящих в данный социально-экономический комплекс. С данной точки зрения наиболее полными являются следующие определения:

1. Транспортная система – это комплекс различных видов транспорта, находящихся во взаимодействии при выполнении перевозок [1].

2. Транспортная система — транспортная инфраструктура, транспортные предприятия, транспортные средства и управление в совокупности. Транспортная инфраструктура — разновидность инфраструктуры, совокупность всех отраслей и предприятий транспорта, как выполняющих перевозки, так и обеспечивающих их выполнение и обслуживание [2].

На основе данных определений можно выделить следующие основные структурные элементы городской транспортной системы, такие как городская инфраструктура, перевозчики, транспорт, транспортная инфраструктура, что позволяет перейти к построению структурной модели городской транспортной системы. На основе данной декомпозиции можно составить структурную модель городской транспортной системы. Структурная модель – представляет собой схему, отражающую структурный состав транспортной системы и связи между ее частями. Данная схема представлена на рисунке 1.



Рис. 1. Структурная модель транспортной системы

В данной модели присутствует ряд элементов.

1. Городская инфраструктура – улично-дорожная сеть города, представляющая собой совокупность всех дорог и развязок города.

2. Перевозчики – представляют собой специализированные организации, осуществляющие перевозки в рамках городской транспортной системы.

3. Транспортная инфраструктура – архитектурные и технические объекты, обеспечивающие нормальное функционирование перевозчиков (линии электропередач, рельсовые пути, остановочные комплексы).

4. Транспорт – совокупность всех технических средств, обеспечивающих возможность перемещения в рамках существующей транспортной системы.

5. Транспортные перевозки – процесс перемещения населения (пассажиры) из одной точки городской территории в другую, посредством транспортной системы.

6. Управление – воздействие на все элементы транспортной системы с целью приведения их в требуемое состояние.

Как следует из структурной модели, все ее блоки связаны между собой через связи ее переменных, что позволяет, зная величину или изменения одних параметров, моделировать изменения других параметров во всех блоках транспортной системы.

Проведем параметрический анализ данной модели.

1. Городская инфраструктура (CI) – совокупность архитектурных объектов города, включая улично-дорожную сеть.

$$CI = F(L, K_n), \quad (1)$$

где L – протяженность улично-дорожной сети;

K_n – коэффициент непрямолинейности, отражающий отношение расстояния по улично-дорожной сети к расстоянию по прямой (воздушное расстояние);

$$K_n = (L/L_v), \quad (2)$$

где L_v – воздушное расстояние;

ПС – пропускная способность участков улично-дорожной сети.

2. Перевозчики (R) – организации, осуществляющие внутригородские пассажирские перевозки общественным транспортом.

$$R = F(\Pi, \text{Пф}, \text{ТСп}), \quad (3)$$

где Π – количество перевозчиков;

Пф – распределение перевозчиков по формам собственности;

ТСп – стоимость проезда одного пассажира.

3. Транспортная инфраструктура (TI) – представляет собой совокупность объектов и правил, определяющих осуществление транспортных перевозок, работу транспортных перевозчиков.

$$TI = F(K_o, L_{K_o}, M, K_m, K_{\text{пок}}), \quad (4)$$

где K_o – количество остановочных комплексов;

L_{K_o} – среднее расстояние между остановочными комплексами городского общественного транспорта;

M – протяженность маршрутной сети маршрутов городского общественного пассажирского транспорта;

K_m – количество маршрутов городского общественного пассажирского транспорта;

$K_{\text{пок}}$ – коэффициент покрытия, отражающий возможность добраться до любой точки городской территории маршрутами городского общественного пассажирского транспорта,

$$K_{\text{пок}}=M/L. \quad (5)$$

4. Транспорт (Tr)- совокупность всех технических средств, обеспечивающих возможность перемещения в рамках существующей транспортной системы.

$$Tr = F (K_{\text{от}}, K_{\text{ит}}, V_{\text{от}}, V_{\text{ит}}), \quad (6)$$

где $K_{\text{от}}$ - количество транспортных средств общественного транспорта;

$K_{\text{ит}}$ - количество индивидуальных транспортных средств;

$V_{\text{от}}$ - средний возраст транспортных средств общественного транспорта;

$V_{\text{ит}}$ - средний возраст индивидуальных транспортных средств.

5. Транспортные перевозки (Tf)– процесс перемещения населения в рамках городской территории.

$$Tf = F (P_{\text{Пот}}, P_{\text{Пит}}, I, V, T), \quad (7)$$

где $P_{\text{Пот}}$ - мощность пассажиропотоков на общественном транспорте;

$P_{\text{Пит}}$ - мощность пассажиропотоков на личном индивидуальном транспорте;

I - интервалы движения транспортных средств общественного транспорта;

V - средняя скорость перемещения;

T - среднее время перемещения.

6. Управление (G) – процесс организации деятельности городской транспортной системы и управления ее текущим функционированием.

В современном городе транспортная система выполняет ряд функций, которые являются жизненно важными для функционирования городской системы. К ним относятся:

1. Обеспечение перемещений пассажиров и товарно-материальных ценностей в рамках городской территории. Деятельность транспортной системы обеспечивает возможность перемещения населения от мест проживания до мест трудовой деятельности, что позволяет нормально функционировать предприятиям и организациям города, обеспечивает деятельность его экономической системы. При помощи транспортной системы обеспечивается возможность перемещения населения к социально значимым объектам: образовательным учреждениям, больницам, музеям, театрам, концертным площадкам, паркам. Обеспечивается возможность нормального взаимодействия людей друг с другом, посредством возможности личного общения.

2. Обеспечение комфорта перемещений. Перемещения в рамках транспортной системы должны осуществляться с соблюдением максимально возможных комфортных условий, как для лиц, осуществляющих перемещения, так и для остального городского населения.

3. Стимулирующая. Функционирование транспортной системы стимулирует деятельность предприятий в смежных отраслях, таких как производство транспортных средств, производство и монтаж путевых устройств, производство материалов для осуществления дорожных работ, непосредственное осуществление дорожных работ.

4. Урбанизационная. Функционирование транспортной системы обуславливает процесс роста и развития города, географическую локализацию производственных предприятий, размещение новых жилых микрорайонов.

Для более полного понимания процессов, происходящих в городской транспортной системе, необходимо рассмотреть функциональные взаимосвязи, учитывая ранее составленную структурную схему.

Структурно-функциональная модель отражает функции транспортного комплекса города и элементы транспортной системы, которые их выполняют. Данная модель представлена на рисунке 2.

На основе данной схемы можно установить следующие взаимосвязи между структурными элементами транспортной системы и ее функциями.

1. Перевозчики выполняют функцию обеспечения комфорта и стимулирования.
2. Транспорт выполняет функцию обеспечения комфорта и стимулирования.
3. Транспортная инфраструктура выполняет функцию обеспечения комфорта и стимулирования, а также урбанизационную функцию.
4. Транспортные перевозки выполняют функцию обеспечения перемещений и урбанизационную функцию.
5. Управление выполняет урбанизационную функцию

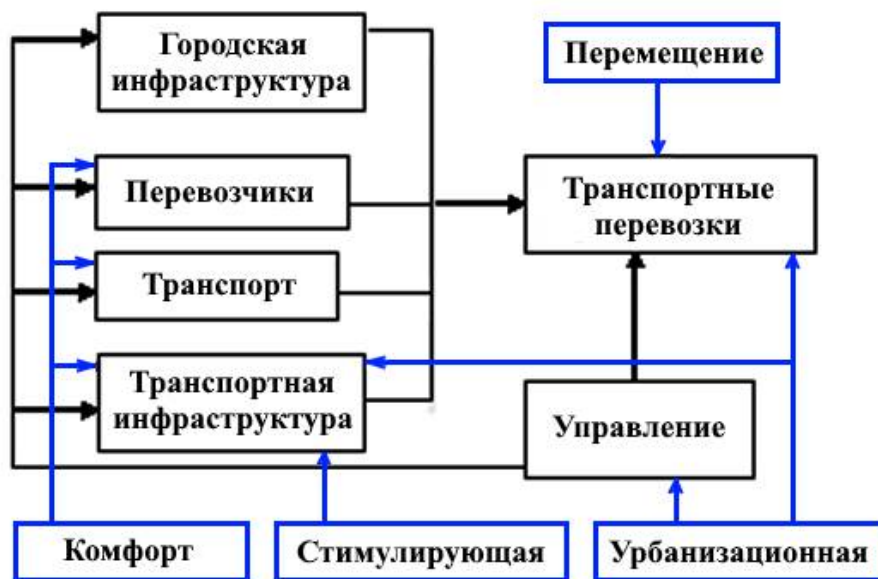


Рис. 2. Структурно-функциональная модель городской транспортной системы

Таким образом, была предложена структурно-функциональная модель городской транспортной системы, основанная на сопоставлении ее структурных элементов, выявленных на основе анализа существующих определений городской транспортной системы и функций, выполняемых данными элементами. Разработанная структурно-функциональная модель может использоваться, как основа для создания общей модели городской транспортной системы, что необходимо для разработки управленческих решений по ее развитию.

Библиографический список

1. Единая транспортная система и география транспорта. / Р.Б. Ивуть, Н.В. Стефанович, А.А. Косовский - Белорусский национальный технический университет. Минск, 2009. – 76 с.
2. Транспортная инфраструктура / И.О. Загорский, П.П. Володькин, А.С. Рыжова. – Хабаровск: Изд-во Тихоокеан. гос. ун-та, 2015. - 228 с.

УДК 656.01; ГРНТИ 73.43.01

РАЗРАБОТКА МОДЕЛИ ЭФФЕКТИВНОСТИ ГОРОДСКОЙ ТРАНСПОРТНОЙ СИСТЕМЫ

Ю.А. Меркулов

*Рязанский государственный радиотехнический университет имени В.Ф. Уткина,
Российская Федерация, Рязань, Merkulov-UA@mail.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 URBAN TRANSPORT SYSTEM EFFICIENCY MODEL

Y.A. Merkulov

*Ryazan State Radio Engineering University named after V.F. Utkin,
Russia, Ryazan, Merkulov-UA@mail.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.

При принятии 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. Современные подходы к определению самого понятия и сущности эффективности городской транспортной системы отличаются неполнотой и разрозненностью, что приводит к необходимости разработки новых подходов к рассматриваемому вопросу. В связи с данными обстоятельствами представляется целесообразным разработать новые подходы к определению эффективности городской транспортной системы – модели эффективности городской транспортной системы [1, 2].

В основу данной модели положены три основополагающих принципа:

1. Эффективность городской транспортной системы целесообразно рассматривать, как степень соответствия городской транспортной системы запросам к ней со стороны потребителей ее услуг.

2. Данное понятие необходимо рассматривать в совокупности трех взаимосвязанных элементов: экономической эффективности, социальной эффективности, экологической эффективности. 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.

3. Определение эффективности осуществляется на основе сравнения фактического значения показателя, выбранного в качестве критерия эффективности с его эталонным значением (1).

$$x_i = \Phi_i / \Xi_i, \quad (1)$$

где x_i - оценка i -го элемента эффективности;

Φ_i - фактическое значение показателя эффективности i -го элемента.

Ξ_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.

Экономическая эффективность городской транспортной системы обычно рассматривается со следующих позиций:

1. Как эффективность деятельности перевозчиков городского общественного транспорта, выраженную в показателях рентабельности.

2. Как эффективность инвестиционных проектов реконструкции и развития городской транспортной системы, выраженная в показателях эффективности инвестиционных проектов.

Указанные подходы не отражают самой сущности городской транспортной системы, так как определяют эффективность только отдельных ее элементов, игнорируя ее комплексный характер. Требуется разработка концептуально новых подходов к определению экономической эффективности городской транспортной системы.

Данный подход может быть выявлен на основе анализа главной задачи функционирования данной системы – обеспечения перемещение людей и грузов из одной части городской территории в другую. Следовательно, показателем экономической эффективности городской транспортной системы, может стать время перемещения внутри городской территории. К определению самого эталонного значения можно подойти с двух позиций:

1. Определение времени перемещения на максимально разрешенной в городских условиях скорости по существующей улично-дорожной сети без воздействия транспортных заторов и системы организации дорожного движения (дорожных знаков и светофорных объектов).

2. Определения времени перемещения на максимально разрешенной в городских условиях скорости по воздушному расстоянию (по прямым линиям).

Время, затрачиваемое на перемещения целесообразно рассматривать в контексте двух сегментов спроса на транспортные услуги – общественного транспорта и личного индивидуального транспорта.

Время, затрачиваемое на перемещение пассажиром общественного транспорта, будет определять по следующей формуле (2):

$$T_{от} = t_{до ост} + t_{ож} + t_{поез} + t_{подх}, \quad (2)$$

где $T_{от}$ – время, затрачиваемое на перемещения с использованием общественного транспорта;

$t_{до ост}$ – время, необходимое, чтобы дойти от места пребывания лица (место проживания, место работы) до остановки общественного транспорта;

$t_{ож}$ – время ожидания транспортного средства на остановочном пункте;

$t_{поез}$ – время совершения поездки;

$t_{подх}$ – время, необходимое, чтобы дойти от остановочного комплекса до места назначения корреспонденции лица.

Время совершения поездки можно определить по формуле (3):

$$t_{поез} = S/V + t_{ост} * n + t_{простоя}, \quad (3)$$

где S – расстояние совершаемой поездки;

V – скорость движения транспортной единицы общественного транспорта;

$t_{ост}$ – время простоя транспортной единицы на остановочном комплексе, с целью посадки-высадки пассажиров;

n – количество остановочных комплексов на участке передвижения пассажира;

$t_{простоя}$ – время простоя транспортной единицы общественного транспорта в транспортных заторах.

Таким образом, можно выявить систему показателей, определяющих время передвижения по городской транспортной системе: 1) расстояние передвижения, 2) скорость передвижения; 3) время остановки на остановочном комплексе; 4) пропускная способность участка улично-дорожной сети; 5) мощность пассажиропотоков; 6) расстояние между остановочными комплексами; 7) интервал движения общественного транспорта; 8) коэффициент пересадочности.

Определение эталонного времени осуществляется по вышеуказанным формулам, но с применением эталонных значений выявленных показателей. В качестве эталонных значений целесообразно взять следующие:

- 1) скорость передвижения – максимально разрешенная в городе;
- 2) время остановки на остановочном комплексе – в соответствии с нормативным;
- 3) транспортные заторы отсутствуют, то есть мощность пассажиропотоков меньше или равна пропускной способности;
- 4) расстояние между остановочными комплексами – согласно нормативу;
- 5) интервал движения общественного транспорта – необходимый для обслуживания пассажиропотоков.

Для определения социальной эффективности городской транспортной системы необходимо определить степень соответствия состояния элементов данной системы, обеспечивающих удобство и комфорт населения, с их эталонным состоянием.

Результаты определения рассматриваемых элементов и определения показателей, характеризующих данные элементы, приведены в таблице 1.

Табл. 1. Элементы определения социальной эффективности и показатели, их характеризующие

№	Элемент диагностирования	Показатель диагностирования
1.	Узлы	Пропускная способность
2.	Отрезки	Пропускная способность
3.	Остановочные комплексы	Соответствие стандарту
4.	Парковки	Количество
5.	Пешеходные переходы	Количество
6.	Маршрутная сеть	Коэффициент покрытия
7.	Остановочная сеть	Расстояние между остановками
8.	Расписание движения общественного транспорта	Средний интервал
9.	Подвижной состав	Средний возраст

Под отрезками понимаются участки улично-дорожной сети, а под узлами – места соединения участков улично-дорожной сети.

В качестве эталонного значения каждого показателя принимается такое значение, которое иллюстрирует оптимальное состояние элемента в данный момент времени.

Узлы и отрезки улично-дорожной сети города должны иметь такую пропускную способность, которая удовлетворяла бы потребностям населения в транспортных перемещениях, которые иллюстрируются корреспонденциями населения. Для остановочных комплексов эталонным состоянием является полное соответствие стандарту, что максимизирует их полезность для пассажиров. Оптимальное количество парковочных мест должно обеспечивать постоянное пребывание транспортной единицы личного индивидуального транспорта в данных зонах. Эталонным значением количества пешеходных переходов является такое количество, которое обеспечивает возможность пешеходу перехода проезжей части улично-дорожной сети, следовательно, каждый остановочный пункт должен иметь свой пешеходный переход. Эталонным для маршрутной сети является такое состояние, при котором при помощи общественного транспорта можно добраться до любой точки улично-дорожной сети, то есть протяженность маршрутной сети должна соответствовать протяженности улично-

дорожной сети. Эталонными значениями интервалов движения городского общественного пассажирского транспорта будут являться такие интервалы, которые минимизируют время ожидания на остановочном пункте и не допускают переполнение транспортной единицы. Средний возраст транспортных средств перевозчиков городского общественного пассажирского транспорта должен быть таким, чтобы максимизировать коэффициент использования парка и минимизировать затраты времени и ресурсов на ремонт.

Интегральная оценка представляет собой общую величину социальной эффективности транспортной системы. Данная величина должна учитывать не только само значение показателя, но и уровень его значимости в функционировании объекта оценки.

Процесс определения интегральной оценки включает в себя две стадии:

1. Определение весовых коэффициентов значимости каждого элемента для функционирования городской транспортной системы. Ввиду большой вариативности степени влияния каждого отдельного элемента на функционирование всей системы в целом, определять весовые коэффициенты целесообразно методом экспертных оценок.

2. Определение интегральной оценки.

Наиболее предпочтительным для определения интегральной оценки является метод нахождения альтернативы с заданными свойствами, при этом лучшей оценкой является 0, худшей оценкой 1. Данный способ предполагает нахождение меры отклонения текущего состояния от эталонной точки, что полностью соответствует логике предлагаемой диагностики.

Экологическая эффективность представляет собой меру соответствия выбросов в окружающую среду вредных веществ со стороны транспортной системы города предельно допустимым уровням. Интегральная оценка по всей совокупности вредных выбросов определяется аналогично предыдущему случаю, при условии, что весовые коэффициенты рассчитываются на основе совокупного объема выбросов по каждому вредному соединению.

Нахождение общей эффективности городской транспортной системы производится посредством аддитивной свертки, при условии, что все три вида эффективности имеют равное значение.

Таким образом, предложена модель определения эффективности городской транспортной системы, основанная на принципе функционального соответствия. В основу модели положена декомпозиция эффективности на три вида (экономическую, социальную и экологическую), нормирование показателей, определяющих состояние частей транспортной системы и нахождение интегральных оценок. Разработанная модель позволяет получить критерий определения результатов управленческих решений в транспортной системе, как социально-экономическом комплексе.

Библиографический список

1. 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.

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.

СЕКЦИЯ «ИНФОРМАЦИОННО-ИЗМЕРИТЕЛЬНЫЕ УСТРОЙСТВА И СИСТЕМЫ В ТЕХНИКЕ И МЕДИЦИНЕ. СТАНДАРТИЗАЦИЯ И УПРАВЛЕНИЕ КАЧЕСТВОМ»

УДК 658; ГРНТИ 81.81

УПРАВЛЕНИЕ РИСКАМИ В ОРГАНИЗАЦИИ

А.Д. Котяева, А.В. Губарев

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

Аннотация. В работе рассматриваются подходы к управлению рисками в организации. Приведены этапы процесса управления рисками и методика количественной оценки уровня риска.

Ключевые слова: возможность, риск, система менеджмента качества, управление рисками.

RISK MANAGEMENT IN THE ORGANIZATION

A.D. Kotyaeva, A.V. Gubarev

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

The summary. The paper discusses approaches to risk management in the organization. These are the principles of the risk management process and the methodology for quantifying the level of risk.

Keywords: opportunity, risk, quality management system, risk management.

Организация в своей деятельности сталкивается с внутренними и внешними факторами и воздействиями, которые влекут за собой неопределенность. Неопределенность, с одной стороны, скрывает в себе риск, а с другой, открывает возможности, поэтому она может привести как к снижению, так и к увеличению прибыли организации.

Управление рисками на основе ГОСТ Р ИСО 31000 позволяет руководству эффективно действовать в условиях неопределенности и связанных с ней рисков, использовать возможности для увеличения потенциала развития и роста прибыли организации.

Под риском понимают вероятность наступления некоторого неблагоприятного события, влекущего за собой различного рода последствия (например, потери организацией части своих ресурсов, появление дополнительных расходов в результате осуществления определенной деятельности, получение доходов ниже ожидаемого уровня и т.д.).

Управлять рисками означает определять перспективы и выявлять возможности для совершенствования деятельности, а также не допускать или сокращать вероятность нежелательного хода событий. Сущность управления рисками заключается в идентификации (выявлении) и оценке рисков, их мониторинге, разработке и реализации системы мероприятий, направленных на снижение вероятности реализации риска и/или уменьшение размера потенциальных потерь в случае реализации риска, контроле эффективности этих мероприятий.

Целью управления рисками является ограничение принимаемых рисков по всем направлениям деятельности организации в соответствии с собственными стратегическими целями и задачами и обеспечение надежного функционирования системы менеджмента качества (СМК).

Цель управления рисками достигается на основе системного, комплексного подхода, который подразумевает решение следующих задач:

- выявление и мониторинг рисков на постоянной основе;
- идентификация и анализ рисков;
- оценивание рисков;

- обеспечение контроля эффективности управления рисками и соответствия принимаемых мер по управлению рисками характеру и масштабу деятельности организации;
- организация информационного обмена между руководством и структурными подразделениями организации по вопросам, связанным с выявлением, идентификацией и оценкой рисков;
- установление порядка предоставления отчетности руководству организации по вопросам управления рисками;
- обеспечение своевременного принятия руководством решений, необходимых для снижения рисков, а также устранения последствий их реализации;
- создание системы контрольных мероприятий по предупреждению событий риска, поддержанию приемлемого уровня рисков, а также реализации мер, направленных на снижение рисков и предотвращение последствий реализации рисков;
- эффективное распределение полномочий и ответственности между руководством и персоналом по вопросам управления рисками.

Процесс управления рисками начинается с определения внешних и внутренних факторов, которые влияют на успех в достижении целей организации. Этот шаг называют "установление контекста", и он является предшественником идентификации рисков.

Посредством "установления контекста" организация осуществляет мониторинг и анализ информации о своей среде для определения положительных и отрицательных факторов, а также сильных и слабых своих сторон, с целью оценки рисков и выработки компенсирующих мероприятий.

К внутренним (управляемым) факторам рисков относятся факторы, обусловленные деятельностью самой организации: деловая активность руководства организации, корпоративная культура, выбор оптимальной стратегии, политики и тактики, а также показатели: производственный потенциал, кадровый потенциал, техническое оснащение, уровень производительности труда, уровень соблюдения техники безопасности и др. На внутренние факторы организация может оказывать свое воздействие.

Внешние (неуправляемые) риски непосредственно не связаны с деятельностью организации, на их уровень влияет большое количество факторов - политических, экономических, экологических, социальных, законодательных и других. Это факторы, на которые организация не может воздействовать, но может минимизировать их негативное влияние на свой бизнес или использовать их в своих интересах.

Оценка рисков (как внутренних, так и внешних) - это процесс идентификации, анализа и оценивания рисков. Оценка рисков является частью процесса управления рисками организации и характеризуется применением логических и системных методов оценки рисков, соответствующих требованиям ГОСТ Р ИСО/МЭК 31010.

Основной целью оценки риска является предоставление на основе объективных свидетельств информации, необходимой для принятия обоснованного решения относительно способов обработки рисков.

Оценка рисков обеспечивает:

- понимание потенциальных опасностей и воздействия их последствий на достижение установленных целей организации;
- получение информации, необходимой для принятия решений;
- понимание опасности и ее источников;
- идентификацию ключевых факторов, формирующих риск, уязвимых мест организации и ее систем;

- возможность сравнения риска с риском альтернативных организаций, технологий, методов и процессов;
- информацию, необходимую для ранжирования (определения уровня) риска;
- предотвращение новых инцидентов на основе исследования последствий произошедших инцидентов;
- выбор способов обработки риска;
- соответствие правовым и обязательным требованиям и др.

Плановую оценку рисков в области СМК организациям целесообразно осуществлять ежегодно в течение первого квартала.

В стандарте ГОСТ Р ИСО 31010 представлен 31 метод оценки риска, основанный на экспертных оценках. Метод анализа видов и последствий отказов (FMEA) чаще всего используется в процессе обеспечения качества.

Преимущества этого метода заключаются в том, что при его использовании формируется экспертная группа, которая классифицирует каждый случай неопределенности исхода событий (риска) с учетом оценки:

- вероятности появления (O);
- возможности обнаружения с помощью существующих методов (D);
- значимости его последствий (S).

Экспертная группа формируется из числа участников процесса в подразделении под председательством ответственного за процесс и назначается приказом по подразделению.

Оценку показателей O, D, S экспертная группа проводит на каждый закреплённый за ней риск (таблицы 1,2,3).

Таблица 1 – Оценка вероятности появления риска

Вероятность появления риска, (O)	Балльная оценка
Очень высокая	9-10
Высокая	7-8
Средняя	5-6
Низкая	3-4
Незначительная	1-2

Таблица 2 – Оценка возможности обнаружения риска

Возможность обнаружения риска с помощью существующих методов, (D)	Балльная оценка
Метод отсутствует	10
Метод не эффективен	9
Плохие шансы обнаружения риска	8
Очень ограниченные шансы обнаружения риска	7
Ограниченные шансы обнаружения риска	6
Умеренные шансы обнаружения риска	5
Умеренно хорошие шансы обнаружения риска	4
Высокие шансы обнаружения риска	3
Очень высокие шансы обнаружения риска	2
Метод почти наверняка позволит обнаружить данный вид риска	1

Таблица 3 – Оценка значимости последствий риска

Значимость последствий риска, (S)	Балльная оценка
Очень опасное	10
Опасное	9
Очень важное	8
Важное	7
Умеренное	6
Слабое	5
Очень слабое	4
Незначительное	3
Очень незначительное	2
Отсутствует	1

Для оценки риска экспертная группа определяет приоритетное число риска (ПЧР), которое вычисляется путем перемножения вероятности появления риска на возможность его обнаружения с помощью существующих методов и на значимость его последствий:

$$\text{ПЧР} = \text{O} * \text{D} * \text{S},$$

где ПЧР - приоритетное число риска;

O - вероятность появления риска;

D - возможность его обнаружения с помощью существующих методов;

S - значимость последствий риска.

Исходя из величины ПЧР, экспертная группа специалистов определяет необходимость предупреждающих действий:

- ПЧР меньше 40 означает низкий уровень данного вида риска - в этом случае не требуется принятие дополнительных мер;
- ПЧР больше 40, но меньше 100 означает приемлемый уровень риска при этом возможно начать проработку предупреждающих действий по снижению риска;
- ПЧР больше 100 означает высокий уровень данного вида риска - в этом случае требуется незамедлительная разработка и принятие мер для снижения риска.

В случае, если для риска ПЧР превысило 100, экспертная группа определяет потенциальные причины такого высокого уровня риска. Эти причины, в свою очередь, рассматриваются экспертной группой как нежелательные ситуации, и проводится оценка уровня возможности их появления с помощью показателей O, D, S и расчета ПЧР.

В случае, если ПЧР для любой из причин превышает 100, экспертная группа разрабатывает предупреждающие действия, а затем оценивает уровень риска и невыполнения тем же способом. После выполнения ПД проводится повторная оценка риска. И так продолжается до тех пор, пока уровень риска не станет приемлемым и, следовательно, предупреждающие действия - результативными. Результаты оценки риска заносятся в соответствующий протокол.

Библиографический список

1. Губарев А.В., Пименова А.В. Анализ международных стандартов риск-ориентированного управления // NovaInfo.Ru (Электронный журнал.) – 2021 г. – № 129; URL: <https://novainfo.ru/article/18815>
2. Пименова А.В., Губарев А.В. Система менеджмента риска как инструмент совершенствования деятельности организации /А.В. Пименова, А.В Губарев // Биотехнические, медицинские и экологические системы, измерительные устройства и робототехнические комплексы - Биомедсистемы-2019. Сборник трудов XXXII Всероссийская научно-техническая конференция студентов, молодых ученых и специалистов. 2019. С. 311-313.

3. Волкова С.В., Губарев А.В. Требования нормативных документов к процессам оценки и анализа рисков в системе менеджмента качества // NovaInfo.Ru. 2018. Т. 1. № 95. С. 14-17.
4. Богданова И.А., Губарев А.В. Основные подходы к управлению рисками на предприятиях // NovaInfo.Ru. 2017. Т. 1. № 67. С. 72-77.
5. Богданова И.А., Губарев А.В. Информационное обеспечение системы управления риском // Современные технологии в науке и образовании - СТНО-2016 сборник трудов международной научно-технической и научно-методической конференции: в 4 томах. РГРТУ, Рязань. 2016. С. 155-158.
6. Богданова И.А., Губарев А.В. Проблемы внедрения системы менеджмента рисков на российских предприятиях // Научный альманах. 2015. №12-2(14). С. 34-37.

УДК 615.847.8; ГРНТИ 76.13.25

СТРУКТУРИРОВАНИЕ И КОМПОЗИЦИИ БИОТРОПНЫХ ПАРАМЕТРОВ ЛЕЧЕБНЫХ МАГНИТНЫХ ПОЛЕЙ В КОМПЛЕКСЕ ХРОНОМАГНИТОТЕРАПИИ И РЕАБИЛИТАЦИИ «РЕЛАКСМАГ»

С.Г. Гуржин

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

Аннотация. Рассматриваются новые функциональные возможности комплекса хрономагнитотерапии и реабилитации «Релаксмаг» по формированию и дозированию биотропных параметров лечебного магнитного воздействия. Определен пространственно-временной базис информационного объема для моделирования и создания множества конфигураций магнитных полей, их композиции и структурирования.

Ключевые слова: хрономагнитотерапия, магнитотерапевтическое воздействие, биотропные параметры магнитного поля, информационный объем воздействия, пространственно-временной базис, матричная полеформирующая система.

STRUCTURING AND COMPOSITION OF BIOTROPIC PARAMETERS OF THERAPEUTIC MAGNETIC FIELDS IN THE COMPLEX OF CHRONOMAGNETOTHERAPY AND REHABILITATION «RELAKSMAG»

S.G. Gurzhin

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

The summary. New functionality of the complex of chronomagnetic therapy and rehabilitation «Relaksmag» for the formation and dosing of biotropic parameters of therapeutic magnetic exposure is considered. The spatio-temporal basis of the information volume is determined for modeling and creating a set of configurations of magnetic fields, their compositions and structuring.

Keywords: chronomagneto therapy, magnetotherapeutic influence, biotropic parameters of the magnetic field, information volume of influence, space-time basis, matrix field-forming system.

На международной выставке «Здравоохранение-2021» концерн «Радиоэлектронные технологии» (КРЭТ) госкорпорации Ростех представил уникальную медицинскую разработку ученых Рязанского радиотехнического университета имени В.Ф. Уткина и специалистов Касимовского приборного завода, филиала АО «Государственный Рязанский приборный завод» магнитотерапевтический комплекс «Релаксмаг» (рис. 1,а) [1].



Рис. 1. Комплекс хрономагнитотерапии и реабилитации «Релаксмаг» (а) с матрицей индукторов (б)

Комплекс «Релаксмаг» является обновленной модифицированной моделью комплекса «Мультимаг» [2], который уже на протяжении двух десятилетий успешно применяется в различных медицинских учреждениях. Отличительная особенность их состоит в дозированном воздействии на весь организм человека низкочастотными низкоинтенсивными сложно-модулированными магнитными полями, биотропные параметры которых организованы и структурированы определенным образом в пространстве и во времени.

В результате магнитотерапии происходит восстановление функциональных резервов организма, нормализация обменных процессов, улучшение микроциркуляции, что способствует проявлению противовоспалительного, гипотензивного и стимулирующего эффектов.

Комплекс «Релаксмаг» предназначается для проведения хрономагнитотерапии людей в широком спектре заболеваний, включающем гипертонию, ишемию, атеросклероз и др., а также для реабилитации после заболевания коронавирусом COVID-19 или в спортивной медицине для быстрого восстановления спортсменов.

Основным структурным элементом комплекса является полеформирующая система магнитного воздействия (магнитоскан), состоящая из 3-х сегментов спины, сиденья и ног и образующая в плоскости кресла-кушетки матрицу из 60 ячеек-модулей и 240 индукторов, независимо управляемых по току (рис. 1,б).

Сегменты матрицы идентичные и представляют собой, равномерно расположенные на плоскости 20 ячеек-модулей, каждая из которых включает микроконтроллер, токовый драйвер и 4 индуктора, два из которых ориентированы вдоль тела пациента, а два других поперек или ортогонально.

Управление магнитосканом осуществляется планшетным компьютером через bluetooth-адаптер и преобразователь интерфейса RS-485.

Использование планшетного компьютера в качестве задающего и управляющего структурного элемента комплекса совместно со специальным программным обеспечением «Релаксмаг» позволяют создавать многообразие конфигураций магнитного поля с широким набором и диапазонами регулирования биотропных параметров. Для моделирования, точного дозирования и контроля пространственно-временного распределения магнитотерапевти-

ческого воздействия врачу предоставляются оконные пользовательские интерфейсы с визуализацией параметров и режимов лечебных методик.

Сформированные информационные массивы данных передаются 60 независимым микроконтроллерам ячеек-модулей, где с помощью записываемой методики в виде адресных программ реализуются алгоритмы управления токовыми драйверами и генерации заданных функциональных изменений токов в системе индукторов магнитоскана.

Геометрическое расположение индукторов в каждой ячейке, их позиционирование в матрице и пространственная ориентация относительно пациента, позволяют организовывать различного рода и локализации информационное воздействие: общее, распределенное, комбинированное или локальное.

Для более полного представления действительных возможностей комплекса и многовариантности параметров лечебного воздействия используется технология моделирования конфигураций магнитного поля, предложенная и реализованная в комплексе «Мультимаг» [3]. Технология позволяет с математической точностью и высоким разрешением задавать биотропные параметры, структурировать их, как для каждой ячейки, так и для всей матрицы полеформирующей системы и проецировать на соответствующие участки тела пациента (рис. 2).

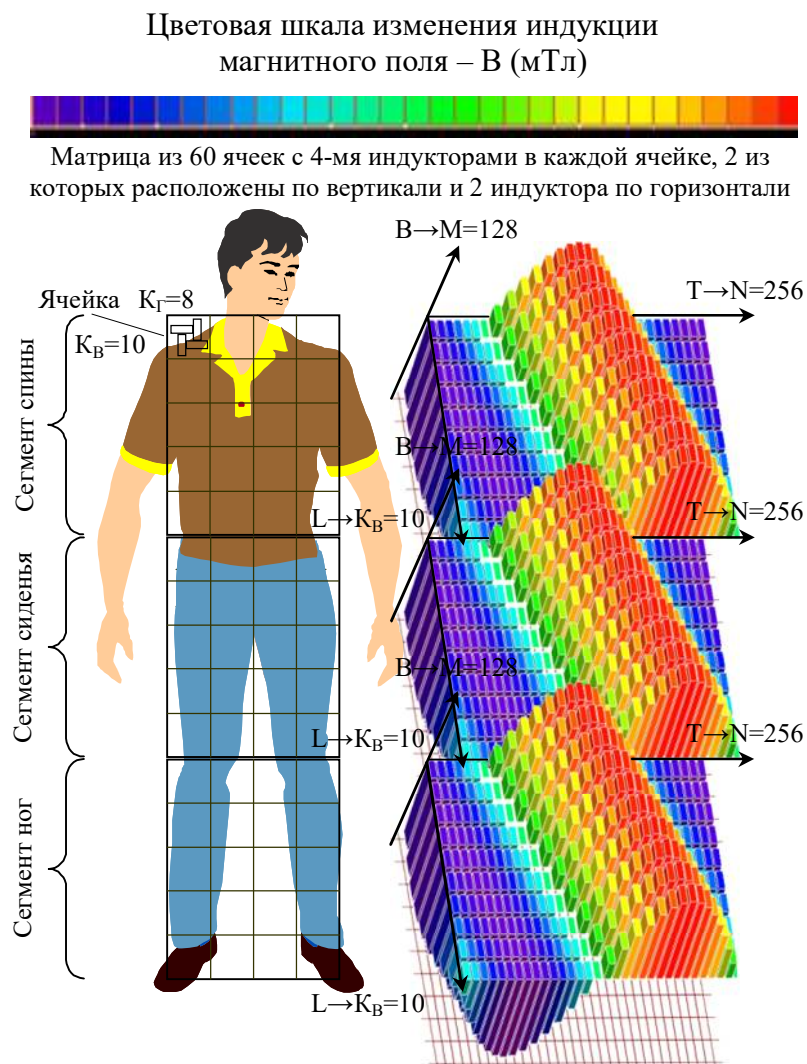


Рис. 2. Пространственное распределение форм токов в индукторах, ориентированных вдоль тела пациента, по трем сегментам спины, сиденья и ног

Все многообразие информационных характеристик воздействия определяет пространственно-временной базис комплекса «Релаксмаг» (таблица и рис. 3). В основе его лежит принцип 3-х координатного формирования конфигурации $\Phi(M,N,K)$ магнитного поля в каждом сегменте и независимо в двух направлениях продольном и поперечном относительно пациента, или по вертикали и горизонтали матрицы.

По координате M задаются значения индукции магнитного поля B , квантованной по 128 уровням. По координате N задаются значения периода T распространения формы магнитной волны во времени, дискретизированного по 256 интервалам. Координата K определяет пространственное расположение индукторов по вертикали – K_B и горизонтали – K_Γ в каждом сегменте L , с количеством равномерно распределенных участков дистанций по вертикали 10 и по горизонтали 8, т.е. с 80-тью независимыми областями воздействия.

Таблица

Параметр	Форма (Ф)										Частота (F)	Фаза (Ψ)	Задерж. (Z)	Опереж. (O)	Длитель. (τ)	Пауза (υ)	Полярн. (Π)	Несколько (τ, υ, Π)			
	Детерминированная					Случайная													Аддитивная	Мультипл.	Комбинир.
Обозначение	П	Л	С	Э	Таб.	Р	Н	Э	Др.	⊕	⊗	&	⊠	⊙	▷	◁	∩	∪	±	■	
Плоскость	V (T)																				
	V (L)																				
	L (T)																				
	T (L)																				

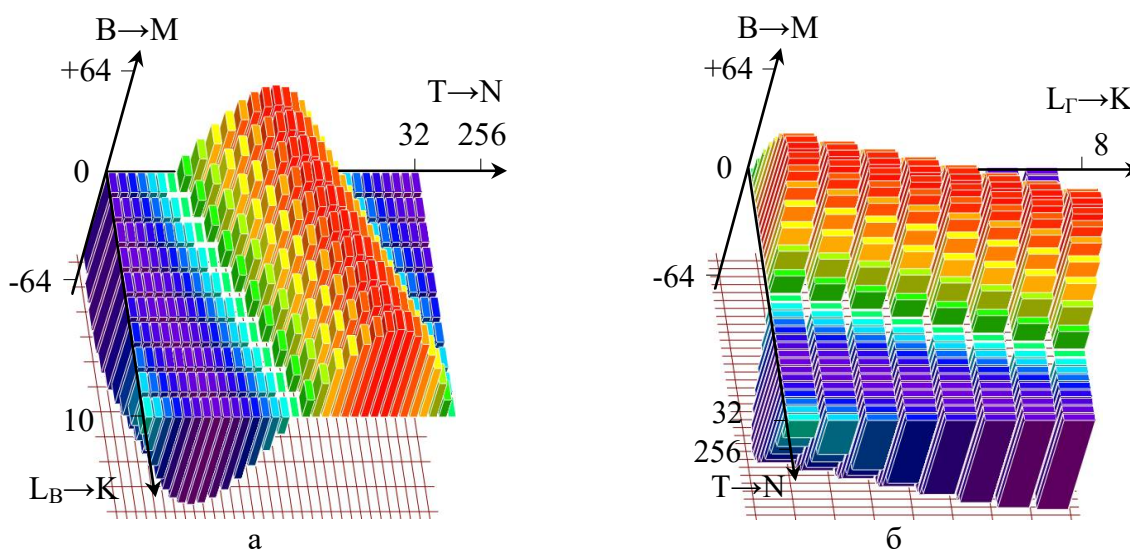


Рис. 3. Пространственно-временной базис формирования множества конфигураций и композиций магнитного поля комплексом «Релаксмаг»

Конфигурации магнитного поля в информационном объеме, определяются тремя основными параметрами:

V – индукция магнитного поля, $V = \Delta b \cdot M$, где Δb – степень квантования V , $M = 128$ – количество ступеней квантования;

T – период распространения формы магнитной волны во времени, $T = \Delta t \cdot N$, где Δt – интервал дискретизации T , $N = 256$ – количество интервалов дискретизации;

L_B – период распространения формы магнитной волны в пространстве с основным вектором индукции, направленным вдоль тела пациента (по длине сегментов) или условно по вертикали, $L = \Delta \ell \cdot K$, где $\Delta \ell$ – шаг дистанции L , $K = 10$ – количество шагов дистанцирования.

Многомерная система координат $M \rightarrow V$, $N \rightarrow T$, $K \rightarrow L$ (индукция, время, пространство) позволяет дискретно (дозировано) задавать необходимый закон изменения магнитного поля

в четырех плоскостях: $M(N)$ или $V(T)$, $M(K)$ или $V(L)$, $K(N)$ или $L(T)$, $N(K)$ или $T(L)$, что соответствует обозначению строк таблицы.

На рисунке 3 представлены примеры распределения магнитного поля в пространстве одного сегмента, создаваемого 10-тью индукторами по вертикали, т.е. вдоль тела пациента (рис. 3,а) и 8-мью индукторами, ориентированными ортогонально, т.е. поперек тела пациента (рис. 3,б). Количество дискретных отсчетов по координате время T на рисунке 3 ограничено 32 отсчетами из 256 возможных значений с целью компактного представления конфигураций магнитного поля.

Закон изменения магнитной индукции B может быть детерминированным, случайным, аддитивным, мультипликативным и комбинированным. В качестве примера детерминированных форм в таблице приведены формы: прямоугольная (Π), линейная (Λ), синусоидальная (C), экспоненциальная (Ξ) и табулированная (T). В качестве примера случайных форм приведены отдельные реализации, распределенные по следующим законам: равномерному (P), нормальному (H), двухстороннему экспоненциальному (Ξ) и другим (Др.).

Необходимость создания случайных моделей полей вызвана стремлением максимально приблизить терапевтическое воздействие по своим информационным свойствам к реальным условиям, когда динамические процессы, протекающие в биосистеме, не строго регулярны и всегда имеется влияние различных внешних факторов среды и внутренних артефактов, выступающих в качестве помех.

В качестве отличительных особенностей и принципиально новых возможностей комплекса «Релаксмаг» можно выделить следующие:

- матричная реализация полеформирующей системы «Релаксмаг» по сравнению с канальной в «Мультимаг», что указывает на возможность локализации магнитотерапевтического воздействия вплоть до поля одного индуктора из 240 индукторов матрицы;
- увеличение количества задаваемых дискретных значений индукции магнитного поля B до 128, периода магнитной волны T до 256, длины участков воздействия L по вертикали до 30 и по горизонтали до 8;
- регулирование вектора магнитной индукции в пространстве полеформирующей системы вплоть до пространства, ограниченного одной ячейкой-модулем с 4-мя индукторами, что обеспечивает формирование динамических вращающихся и вихревых магнитных полей с любым законом перемещения центра вихря в плоскости матрицы и др.

Таким образом, разработана технология моделирования и формирования множества конфигураций лечебных магнитных полей в среде математического проектирования Mathcad с возможностью задания и дозирования биотропных параметров магнитного поля с высокой точностью и разрешением, а также наглядного представления конфигураций и композиций полей в пространстве и во времени.

Технология в перспективе позволит врачам самостоятельно структурировать биотропные параметры применяемой методики воздействия и количественно задавать их значения, проецируя при этом созданную конфигурацию поля либо на весь организм пациента, либо на отдельные его участки тела и органы.

Работа выполнена в рамках государственного задания Министерства науки и высшего образования РФ (FSSN-2020-0003).

Библиографический список

1. КРЭТ РелаксМаг – Анонс кресла для лечения болезней сердца «РелаксМаг» – обновленной версии «Мультимага». URL: https://zdrav.expert/index.php/Продукт:КРЭТ_РелаксМаг?cache=no&ptype=news#2021: (дата обращения: 02.02.2022).
2. Ступаков Г.П., Симоненко В.Б., Пономаренко Г.Н., Щербинина Н.В. Лечебно-профилактическое применение хрономагнитотерапевтического комплекса «Мультимаг»: Медицинская технология. ФС №2011/406. – М.: 2012. – 18 с.
3. Борисов А.Г., Григорьев Е.М., Гуржин С.Г., Жулев В.И., Кряков В.Г., Прошин Е.М. Синтез многомерно-го в пространстве и времени закона формирования магнитного поля в комплексе «Мультимаг-М» // Биомедицинские технологии и радиоэлектроника. 2006. №7. С. 4-11.

УДК 621.3.087.45; ГРНТИ 76.13.25

ОПРЕДЕЛЕНИЕ ПАРАМЕТРОВ КАРДИО-РЕСПИРАТОРНОГО СИНХРОНИЗМА ПАЦИЕНТА В КОМПЛЕКСНОЙ МАГНИТОТЕРАПИИ

С.Г. Гуржин, А.В. Шуляков

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

Аннотация. Рассматриваются аппаратно-программные средства комплексной магнитотерапии и методика определения параметров кардио-респираторного синхронизма у конкретного пациента для количественной оценки эффективности проводимого сеанса магнитотерапии.

Ключевые слова: ультразвуковой датчик дыхания, фотометрический датчик сердцебиения и сатурации, виртуальный прибор, коэффициент корреляции, корреляционное отношение, показатель эффективности магнитотерапии, уровни значимости.

DETERMINATION OF THE PATIENT'S CARDIO-RESPIRATORY SYNCHRONISM PARAMETERS IN COMPLEX MAGNETOTHERAPY

S.G. Gurzhin, A.V. Shulyakov

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

The summary. The hardware-software means of complex magnetotherapy and a method for determining the parameters of cardio-respiratory synchronism in a particular patient for a quantitative assessment of the effectiveness of a magnetic therapy session are considered.

Keywords: ultrasonic respiration sensor, photometric heart rate and saturation sensor, virtual instrument, correlation coefficient, correlation ratio, magnetic therapy efficiency index, significance levels.

В 2011 году Федеральной службой по надзору в сфере здравоохранения и социального развития РФ зарегистрирована новая медицинская технология № ФС 2011/406 и лечебно-профилактический комплекс хрономагнитотерапии «МультиМаг» № ФСР 2011/11524 (рис. 1) [1].



Рис. 1. Комплекс хрономагнитотерапии «МультиМаг»

Комплекс оснащен двумя датчиками для регистрации процесса сердцебиения – USB фотометрическим пульсоксиметром CMS-P фирмы «Contec» и процесса дыхания – ультразвуковым датчиком HC-SR04 [2].

В качестве основных достоинств комплекса можно выделить высокий уровень автоматизации воспроизведения магнитотерапевтического воздействия и непрерывный контроль функционального состояния пациента по текущим, регистрируемым значениям параметров процесса дыхания, сердцебиения и насыщения крови кислородом (сатурации), а также широкие функциональные возможности, достигнутые за счет создания гибких программных средств в виде виртуальных приборов (ВП) в графической среде LabVIEW.

На рисунках 2 и 3 представлены структура измерительно-диагностической системы, интегрированной в комплекс «МультиМаг», и интерфейсы ВП визуализации параметров процессов дыхания и сердцебиения пациента.

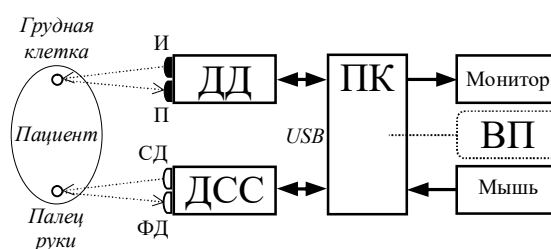


Рис. 2. Измерительно-диагностическая система магнитотерапевтического комплекса «МультиМаг»

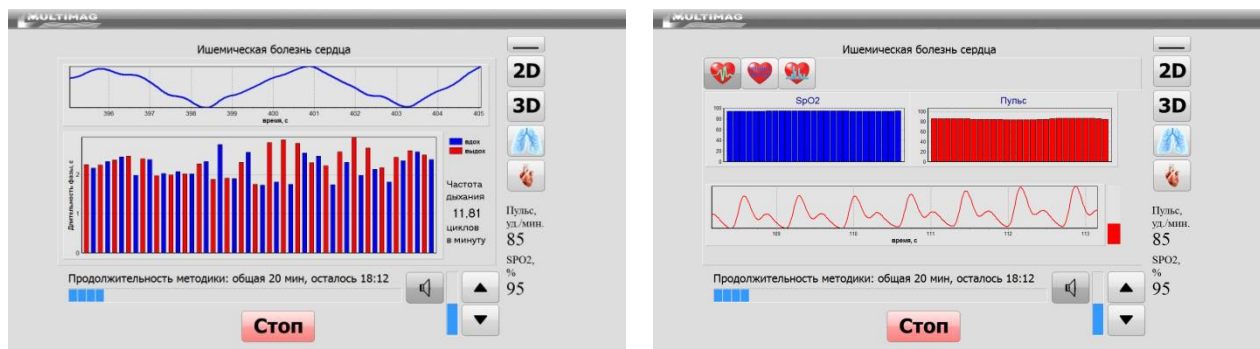


Рис. 3. Интерфейсы диагностических параметров процессов дыхания и сердцебиения пациента в реальном масштабе времени и их вариабельности

Изображения интерфейсов наглядно показывают совокупность измеренных диагностических параметров и показателей, на основании которых лечащий врач принимает оперативно решение о состоянии пациента и необходимости изменения биотропных параметров воздействия. Врачу для анализа выводится следующая информация:

- осциллограммы процессов дыхания и сердцебиения в виде непрерывных сигналов в реальном масштабе времени;
- интервалограммы сигналов дыхания и сердцебиения;
- частоты сигналов дыхания и сердцебиения;
- показатель сатурации SPO2 %;
- текущая продолжительность магнитотерапевтической методики.

Вариабельность процессов дыхания и сердцебиения служит объективным показателем приспособления организма к изменяющимся условиям окружающей среды, отражает правильность работы сердечно-сосудистой и дыхательной систем, регуляцию целостного организма и позволяет оценивать общее состояние пациента и судить об адаптационных резервах его организма.

Однако до настоящего времени эти два основных физиологических процесса рассматривались и оценивались в комплексной хрономагнитотерапии независимо друг от друга.

С появлением ряда публикаций о физиологическом феномене сердечно-дыхательного синхронизма [3-5], при котором улучшается эффективность газообмена в легких и повышается кровенаполнение сосудов малого круга кровообращения, предложен и реализован метод одновременной регистрации процессов дыхания и сердцебиения (рис. 4) и оценки степени их синхронизированности.

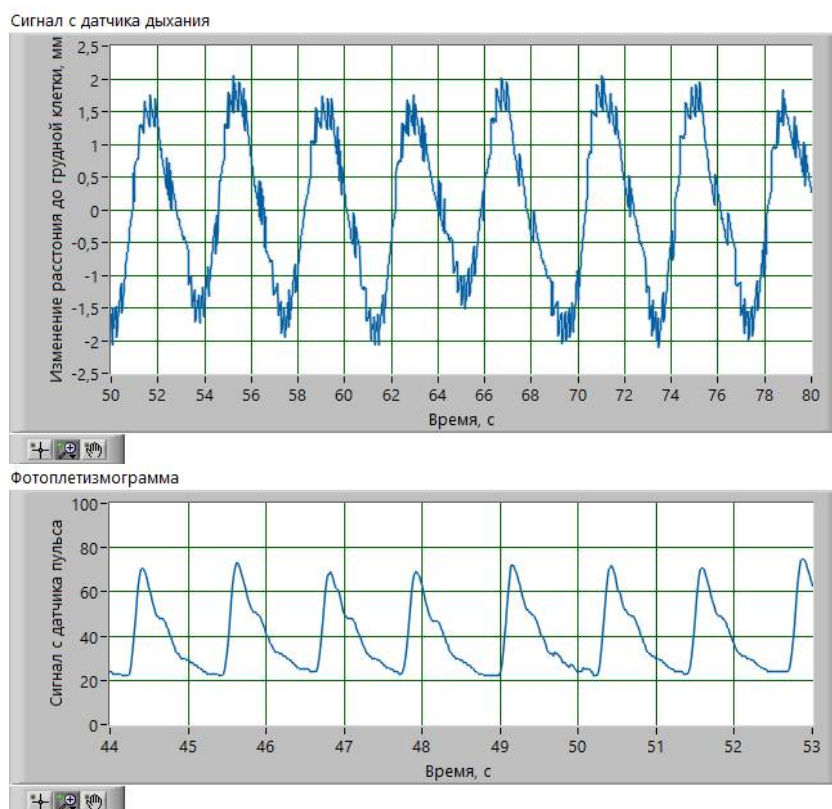


Рис. 4. Фрагменты сигналов процессов дыхания и сердцебиения пациента

С помощью фильтров высоких частот (ФВЧ) Баттерворта 6-го порядка с частотой среза 0,1 Гц исключаются постоянные составляющие сигнала дыхания и фотоплетизмограммы, а с помощью пикового детектора выделяются максимумы пульсовых колебаний сигнала фотоплетизмограммы.

Измеряются временные интервалы между максимумами и строится интервалограмма (пульсограмма).

Поскольку, огибающая сигнала пульсограммы, содержащая дыхательную составляющую может не совпадать по фазе с сигналом зарегистрированным ультразвуковым датчиком дыхания, необходимо совместить по фазе эти два сигнала для более точного определения силы взаимосвязи значений сигналов.

Для этого вычисляется взаимная корреляционная функция (ВКФ) сигналов пульсограммы и дыхания. Индекс максимума ВКФ определяет величину фазового сдвига одного сигнала относительно другого для достижения наибольшей корреляции, поэтому сигнал пульсограммы сдвигается на величину, соответствующую максимуму ВКФ.

Известно [6,7], что универсальной количественной математической мерой тесноты (силы) корреляционной взаимосвязи двух величин (процессов) служит *корреляционное отношение* η , т.к. оно применимо к корреляционной связи любой формы (как линейной, так и

нелинейной). Оно является безразмерной неотрицательной величиной, изменяющейся от 0 до 1.

С возрастанием η корреляционная связь становится более тесной:

$\eta = 1$ – величины связаны функциональной зависимостью;

$0,95 \leq \eta < 1$ – связь очень сильная, практически функциональная;

$0,75 \leq \eta < 0,95$ – связь тесная (сильная);

$0,5 \leq \eta < 0,75$ – связь средняя (умеренная);

$0,2 \leq \eta < 0,5$ – связь слабая;

$0 \leq \eta < 0,2$ – практически нет связи.

Для вычисления корреляционного отношения η определяют условное математическое ожидание и условную дисперсию значений сигнала пульсограммы для каждого значения сигнала дыхания. Для этого диапазон сигнала дыхания разбивается на части – сечения. Далее отдельно анализируются значения сигнала пульсограммы для точек, попавших в каждое сечение. Определяются выборочное условное математическое ожидание и условная дисперсия значений сигнала пульсограммы в каждом сечении. Затем определяется средняя условная дисперсия для всех сечений и полная дисперсия значений сигнала пульсограммы.

Корреляционное отношение вычисляется по формуле:

$$\eta_{xy} = \sqrt{\frac{\sigma_x^2 - \sigma_{xy}^2}{\sigma_x^2}},$$

где σ_x^2 – полная дисперсия значений сигнала пульсограммы: $\sigma_x^2 = \frac{1}{n-1} \cdot \sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})^2$;

x_i – значения сигнала пульсограммы;

\bar{x} – полное среднее арифметическое значений сигнала пульсограммы;

n – число значений (объем выборки) сигнала пульсограммы;

σ_{xy}^2 – средняя условная дисперсия значений сигнала пульсограммы в отдельных сечениях

(при отдельных значениях) сигнала дыхания: $\sigma_{xy}^2 = \frac{1}{L} \sum_{l=1}^L \sigma_{xyl}^2$;

l – номер сечения значений сигнала дыхания;

L – число сечений значений сигнала дыхания;

σ_{xyl}^2 – условная дисперсия значений сигнала пульсограммы в сечении l значений сигнала

дыхания: $\sigma_{xyl}^2 = \frac{1}{k-1} \cdot \sum_{j=1}^k (x_j - \bar{x}_{yl})^2$;

x_j – значения сигнала пульсограммы в текущем сечении;

\bar{x}_{yl} – условное среднее арифметическое (среднее арифметическое в сечении l) значений сигнала пульсограммы;

k – число точек попавших в текущее сечение l .

В проведенных исследованиях диапазон значений зарегистрированного сигнала дыхания разбивался на 40 сечений, в каждом сечении определялись условное среднее, условная дисперсия точек сигнала пульсограммы попавших в данное сечение, средняя условная дисперсия для всех сечений и полная дисперсия значений сигнала пульсограммы.

По полученным дисперсиям определялось корреляционное отношение.

Корреляционное отношение η позволяет установить лишь силу корреляционной связи, форму же корреляционной зависимости можно определить только на основании графического метода построения корреляционного поля или поля рассеяния.

На рисунке 5 представлены поля рассеяния с учетом фазового сдвига сигнала пульсограммы, соответствующего максимуму ВКФ, когда корреляционное отношение $\eta = 0,44764$ (а), и без учета фазового сдвига, когда $\eta = 0,23123$ (б).

Точки поля рассеяния образуются при пересечении значений пульсограммы и сигнала дыхания в каждый момент времени.

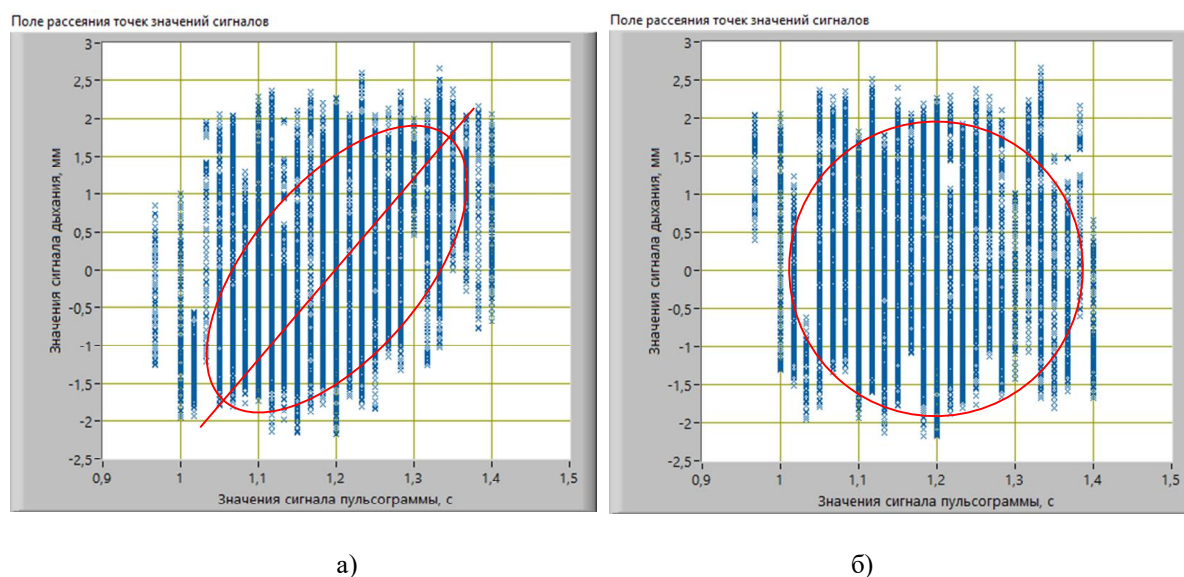


Рис. 5. Поля рассеяния значений пульсограммы и значений сигнала дыхания

Рисунок 5,а наглядно иллюстрирует более выраженную интенсивность корреляционной связи между процессами дыхания и сердцебиения, чем на рисунке 5,б. Графически это выражается вытянутостью эллипса, охватывающего большее количество значений сигнала дыхания и пульсограммы, и явным группированием значений вдоль линии регрессии. На рисунке 5,б значения сигналов распределены равномерно по всему полю рассеяния, т.е. могут быть охвачены окружностью, в которой нет линии регрессии, что свидетельствует о практическом отсутствии корреляционной связи.

Таким образом, разработан метод, позволяющий на основе одновременно регистрируемых процессов дыхания и сердцебиения определять параметры кардио-респираторного синхронизма пациента в течение всего сеанса магнитотерапии, которые могут быть использованы в качестве объективной количественной оценки эффективности каждой проведенной лечебной процедуры.

Работа выполнена в рамках государственного задания Министерства науки и высшего образования РФ (FSSN-2020-0003).

Библиографический список

1. Ступаков Г.П., Симоненко В.Б., Пономаренко Г.Н., Щербинина Н.В. Лечебно-профилактическое применение хрономагнитотерапевтического комплекса «Мультимаг»: Медицинская технология. ФС №2011/406. – М.: 2012. – 18 с.
2. Гуржин С.Г., Шуляков А.В. Лечебно-диагностический комплекс хрономагнитотерапии // Биотехнические, медицинские и экологические системы, измерительные устройства и робототехнические комплексы – Биомед-системы-2021: сб. тр. XXXIV Всерос. науч.-техн. конф. студ., мол. ученых и спец. – Рязань: ИП Коняхин А.В. (Book Jet), 2021. – 412 с., С. 36-39.

3. Калакутский Л.И., Манелис Э.С. Аппаратура и методы клинического мониторинга: Учеб. пособие. – М.: Высш. шк., 2004. – 156 с.
4. Покровский В.М. Сердечно-дыхательный синхронизм в оценке регуляторно-адаптивных возможностей организма / Под ред. В.М. Покровского. – Краснодар: Кубань-Книга, 2010. – 244 с.
5. Даниченко М.Ю., Мельник О.В., Михеев А.А., Шувалов П.Л., Соломаха В.Н. Оценка синхронизированности деятельности сердечно-сосудистой и дыхательной систем организма // Биотехносфера, 2013. № 1(25). С. 2-6.
6. Харченко М.А. Корреляционный анализ. Учебное пособие для вузов. – Воронеж: Воронежский государственный университет, 2008. – 30 с.
7. Айфичер Э.С., Джервис Б.У. Цифровая обработка сигналов. Практический подход, 2-е издание.: Пер. с англ. – М.: Издательский дом «Вильямс», 2008. – 992 с.

УДК 616-072.7; ГРНТИ 59.14.21

ЦИФРОВОЕ УСТРОЙСТВО ФУНКЦИОНАЛЬНОЙ ДИАГНОСТИКИ МЫШЦ РУК

П.С. Бudyлина

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

Аннотация. В работе рассмотрены основные принципы проектирования электромиографа и предложена структура цифрового устройства для функциональной диагностики мышц рук совместно с алгоритмом его работы.

Ключевые слова: электромиограф, функциональная диагностика мышц рук.

DIGITAL DEVICE FOR FUNCTIONAL DIAGNOSIS OF ARM MUSCLES

P.S. Budylina

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

The summary. The paper considers the basic principles of designing an electromyograph and proposes the structure of a digital device for functional diagnostics of arm muscles together with an algorithm for its operation.

Keywords: electromyograph, functional diagnostics of hand muscles.

Современная медицина немислима без соответствующего технического обеспечения, позволяющего решать задачи прогнозирования, диагностики, профилактики и лечения огромного количества заболеваний, сопровождающих биологические организмы на всем их жизненном пути.

При разработке, конструировании и эксплуатации биотехнических систем различных типов и назначений необходим учет взаимосвязей между биологической сущностью исследуемого объекта, методическими приемами применения электронных приборов, аппаратов и систем и особенностями их технической реализации [1].

С учетом специфики электромиографического сигнала и используемых в электромиографии электродов (если проектируемое устройство ориентировано на использование на-кожных или внутримышечных электродов) входной усилитель должен иметь входное сопротивление не менее 100 Мом, низкий уровень напряжений входных шумов, приведенных ко входу (соизмеримый с усилителями ЭЭГ), и широкий динамический диапазон по амплитуде, что достигается использованием механизмов переключения коэффициентов усиления, а также использованием АЦП с высоким разрешением.

Не стоит забывать и о том, что специфические алгоритмы обработки электромиограмм (одним из самых распространенных методов анализа ЭМГ является его аппаратное или программное усреднение, позволяющее количественно оценивать мышечную активность) часто требуют сравнительно больших вычислительных ресурсов при проектировании

мониторных систем по каналу ЭМГ, следовательно, рекомендуется использовать достаточно мощные микроконтроллеры, с возможностью подключения к ним периферийных устройств для комфортного использования системы оператором (врачом) и функцией внутренней и внешней связи с другими мониторными системами, например, по радиоканалу.

Структурная схема проектируемого устройства

На основе теоретических основ электромиографии и знаний об использовании цифровых средств в биотехнических системах медицинского назначения была разработана структура цифрового устройства функциональной диагностики мышц рук, представленная на рисунке 1.

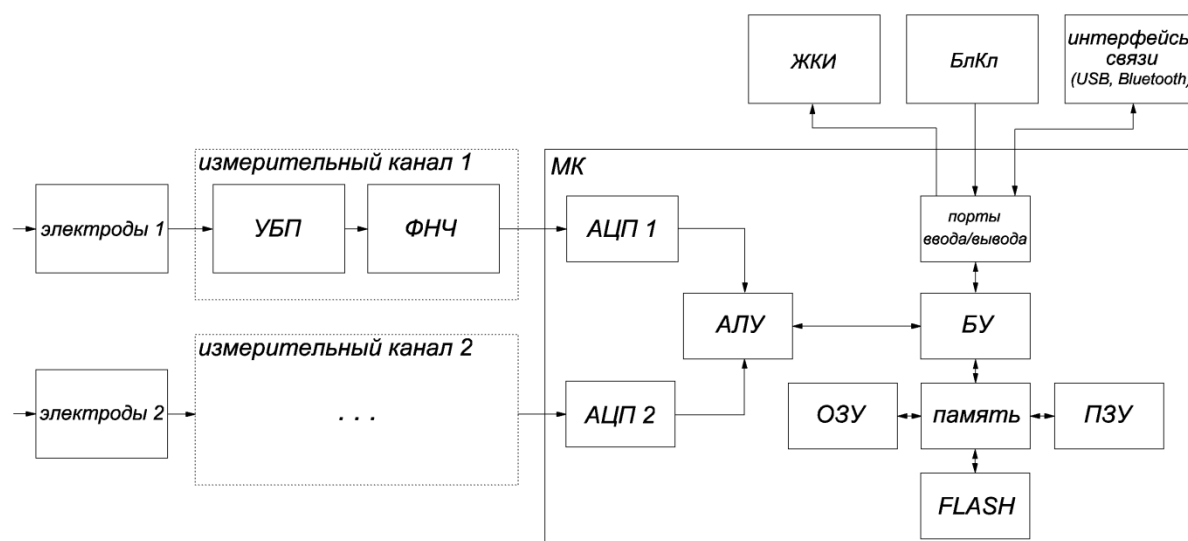


Рис. 1. Структурная схема разрабатываемого устройства: УБП – усилитель биопотенциалов, ФНЧ – фильтр нижних частот, АЦП – аналого-цифровой преобразователь, МК – микроконтроллер, АЛУ – арифметико-логическое устройство, БУ – блок управления, ОЗУ – оперативное запоминающее устройство, ПЗУ – постоянное запоминающее устройство, ЖКИ – жидко-кристаллический индикатор, БлКл – блок клавиатуры.

Разрабатываемое устройство предполагает регистрацию электрической активности двух различных мышц одной руки оператора, где снимаемый с помощью накожных электродов электромиосигнал (ЭМС) каждой из мышц поступает на отдельный канал нормализации для преобразования исходных амплитудных (0,05 – 1 мВ) и частотных (1 – 2000 Гц) характеристик сигнала посредством усилителя биопотенциалов (УБП) и активного фильтра нижних частот (ФНЧ) соответственно. Далее ЭМС поступает на аналого-цифровой преобразователь (АЦП), встроенный в микроконтроллер (МК), на основе арифметико-логического устройства (АЛУ) которого осуществляется цифровая обработка сигнала (ЦОС) для выделения его информативной с точки зрения функциональной диагностики составляющей. Немаловажным является наличие дисплея (ЖКИ) для отображения ЭМС и основной информации о нем и блока клавиатуры (БлКл) для ввода управляющих команд и персональных данных обследуемого.

Для записи и хранения параметров электрической активности мышц пациента совместно с его персональными данными МК должен обладать достаточной встроенной flash-памятью, а также постоянным запоминающим устройством (ПЗУ) для хранения программного обеспечения и оперативным запоминающим устройством (ОЗУ) для регистрации и отображения параметров ЭМС в режиме реального времени.

Примем объем одного символа равным 1Б. Для записи полного имени обследуемого отведем по 12 символов на фамилию, имя и отчество соответственно (с возможностью хранения данных о 100 пациентах одновременно), а также 10 символов на запись текущей даты (в формате 00.00.0000) и 5 символов – времени (в формате 00:00).

Таким образом, для хранения только персональных данных пациентов с указанием даты и времени потребуется объем flash-памяти равный 5100 байтам, что необходимо учитывать при выборе микроконтроллера.

Алгоритм работы микроконтроллера

Алгоритм работы микроконтроллера (рис. 2) будет выглядеть следующим образом: пока происходит прием данных на аналого-цифровой преобразователь, МК фильтрует сигнал, запрашивает необходимость команды корректировки коэффициента усиления усилителя и уровня регистрируемого сигнала, после чего выделяет его информативную составляющую и передает сигнал на дисплей микроконтроллера нормализованный сигнал, представляющий собой диагностически важную информацию.

В результате работы над электромиографическим каналом пришлось проанализировать достаточное количество материалов по этой теме, что, в итоге, позволяет сказать – разработка данного устройства необходима, ведь готовые аналоги стоят приличную сумму денег.

Также стоит отметить, что количество реальных исследований ЭМГ мало (хотя бы по сравнению с ЭКГ), следовательно, канал проектировался под средние значения частотного диапазона и информативной части сигнала. Ведь только попробовав обработать устройством настоящий электромиографический сигнал можно настроить более конкретно некоторые части схемы, что и определяет мои дальнейшие цели развития курсового проекта.

В ходе курсового проектирования были разработаны система для регистрации электромиографического сигнала и описан алгоритм работы микроконтроллера для регистрации, обработки и хранения электромиосигнала, а также управления измерительным каналом, спроектированы печатная плата и корпус прибора.



Рис. 2. Алгоритм работы микроконтроллера.

1. Корневский Н.А., Юлдашев З.М. Приборы, аппараты, системы и комплексы медицинского назначения. Техническое обеспечение здравоохранения, электрофизиологическая техника: учебник/ Н.А. Корневский, З.М. Юлдашев. – Старый Оскол: ТНТ, 2019. – 268 с.

УДК 612.13:612.15:616.1:615.83; ГРНТИ 76.13.25

ПРИМЕНЕНИЕ МАГНИТОДИНАМИЧЕСКОГО МЕТОДА ДЛЯ ВЫЯВЛЕНИЯ ТРОМБООБРАЗОВАНИЯ В ПОСТКОВИДНЫЙ ПЕРИОД

А.Р. Габдрахманова, М.М. Тюрина

*Казанский национальный исследовательский технический университет
имени А. Н. Туполева – КАИ,
Российская Федерация, Казань, alsu-g15@mail.ru*

Аннотация. В работе обоснована необходимость внедрения канала диагностики в магнито-терапевтическую систему для выявления тромбообразования при проведении многокомпонентной реабилитации в постковидный период. Предложено построение терапевтической системы на основе магнитодинимического метода, способствующего улучшению кровоснабжения и снижению риска тромбообразования.

Ключевые слова: внебольничная пневмония, реабилитация, магнитотерапия, магнитное поле, коронавирусная инфекция, тромбообразование, диагностика.

APPLICATION OF THE MAGNETODYNAMIC METHOD FOR THE DETECTION OF THROMBO FORMATION IN THE POST-COVID PERIOD

A.R. Gabdrakhmanova, M.M. Tyurina

*Kazan National Research Technical University named after A. N. Tupolev – KAI,
Russia, Kazan, alsu-g15@mail.ru*

The summary. The article substantiates the need to introduce a diagnostic channel into a magnetotherapy system to detect thrombosis during multicomponent rehabilitation in the post-COVID period. The construction of a therapeutic system based on the magnetodynamic method, which improves blood supply and reduces the risk of thrombosis, is proposed.

Keywords: community-acquired pneumonia, rehabilitation, magnetic therapy, magnetic field, coronavirus infection, thrombosis, diagnostics.

На протяжении длительного времени эпидемиологическая ситуация, связанная с коронавирусной инфекцией, во всем мире остается напряженной. Темпы прироста за сутки ежедневно увеличиваются. Кроме того, регистрируются новые штаммы, что ставит перед врачами задачи, связанные не только с быстрой диагностикой заболевания, но и с организацией и проведением многокомпонентной реабилитации, особенно пациентам, перенесшим длительную ИВЛ. Но, вопреки проводимому лечению, возможны последствия заболевания, которые могут проявиться со временем. Часто перенесенная пневмония приводит к нарушениям функции органов дыхания, сердечно-сосудистой системы, высших психических функций и, к сожалению, возможной инвалидизации. Поэтому одной из главных проблем современной медицины является парирование внебольничных постковидных последствий в коронарной сосудистой системе и сосудистой системы легких. В сосудистых системах головного мозга и легких, в большинстве случаев, это связано с тромбозацией сосудов и возникновением, и ускоренным развитием атеросклеротических образований.

К клинико-патологическим проявлениям COVID-19 относятся: снижение иммунного статуса организма, морфологических особенностей воспалительной реакции и увеличение объема поражения в первую очередь легочной ткани, а также сосудистой системы головного мозга. При этом наблюдается полнокровие капилляров, повреждение эндотелия, что приводит к повышению проницаемости сосудистой стенки, быстрому накоплению эритроцитов, нейтрофилов, фибрина в альвеолах. В некоторых случаях развивается некроз ткани с формированием абсцесса, ограниченного грануляционной тканью и макрофагами [1].

К факторам, которые провоцируют образование кровяных сгустков при коронавирусной инфекции, относятся повышение свертываемости крови из-за изменения соотношения между белками плазмы крови, повреждение эндотелия (внутренней оболочки сосудов) во

время болезни, замедление кровотока из-за постельного режима при госпитализации, поэтому одним из самых распространенных осложнений при тяжелой форме данного заболевания является тромбоз – формирование внутри кровеносных сосудов сгустков крови, тромбов [2].

Пациенты с COVID-19 и нарушениями в системе гемостаза, как правило, имеют место гиперферритинемия, которая возникает при критических состояниях как реактант острой фазы воспаления и характеризуется цитокиновым штормом вследствие гиперактивации макрофагов и моноцитов. Кроме того, нарушается нормальное кровоснабжение жизненно важных органов, а это снижает активность процессов метаболизма в этих органах и сатурацию SpO₂ и может, в итоге, привести к летальным исходам.

Реабилитационные действия организма главным образом направлены на восстановление функции легких, нормализацию дыхательных объемов, профилактику развития легочного фиброза, а также укрепление иммунитета и снижение рисков повторных заболеваний и осложнений. В основу физиотерапевтического воздействия магнитных полей на ткани легких положен магнитомеханическое воздействие на биоэлектрические процессы и эффект наведения индукционных токов в токопроводящих средах организма (форменные элементы крови, вода), что приводит к изменению физико-химических свойств тканей. Кроме того, воздействие магнитного поля на кровеносные сосуды позволяет снизить риск тромбообразования за счет снижения свертываемости крови. Изменение скорости кровотока приводит к скоплению тромбов и изменению вязкости крови. Тромбообразование в сосудах трудно диагностировать, особенно у пациентов, страдающих заболеваниями сердечно-сосудистой и легочной систем.

Для контроля параметров кровеносных сосудов существуют различные методы диагностики. К наиболее популярным методам относят визуализирующие методы исследования такие, как рентгенография, спиральная компьютерная томография, ангиография, ультразвуковое исследование, магниторезонансная томография, и методы лабораторной диагностики, включающие анализ биохимических параметров крови, например, анализ крови на Д-димер и т.п.

Существуют инвазивные методы измерения скорости кровотока, они основаны на внутривенном введении веществ, которые вызывают через короткое время различные субъективные ощущения у пациента. Визуальный метод заключается в измерении расстояния, которое проходит клетка крови за единицу времени. В основе фотографического метода лежит эффект зависимости величины электрического напряжения на фотодатчике от частоты и продолжительности воздействующей на фотоэлемент световой импульсации при регистрации движущихся в сосуде эритроцитов в проходящем свете [3]. Инвазивные методы обладают рядом недостатков: требуют полной неподвижности объекта микроскопирования, требуют применения недоступной для широкой медицинской практики систем стабилизации изображения сосуда в фокусе микроскопа, низкая точность динамической оценки параметров кровотока в сосудах малого диаметра и т.п.

Среди неинвазивных методов определения скорости крови можно отметить ультразвуковой и электромагнитный методы. Ультразвуковой метод основан на эффекте Доплера. В зависимости от расположения эритроцитов относительно оси их скорость в крупных сосудах отличается. Пристеночные эритроциты движутся с меньшей скоростью, приосевые – с большей. Ультразвуковая волна при этом отражается от разных эритроцитов, следовательно, доплеровский сдвиг получается не в виде одной частоты, а как интервал частот. Поэтому с помощью эффекта Доплера можно определить скорость движения различных слоев крови, а не только среднюю скорость кровотока. Но данный метод имеет ряд недостатков: трудоемкий, требует специального образования, имеет низкую точность определения скорости кровотока. Кроме того, он может использоваться только для тех участков, где проходит ламинарное течение крови. Этот недостаток отсутствует в электромагнитном методе, при котором измерение скорости кровотока основано на отклонении движущихся зарядов в магнитном

поле. Более того он может применяться при турбулентном течении крови. Данный метод измерения скорости кровотока основан на эффекте Холла. Применение метода позволяет оценить состояние сосудов и наличия в них патологических сужений, препятствиях току крови (пристеночные тромбы, атеросклеротические бляшки), уровень снабжения кровью мозга и других органов, состоянии вязкости крови, уровень микроциркуляции, степень сердечной недостаточности и состоянии коронарных сосудов.

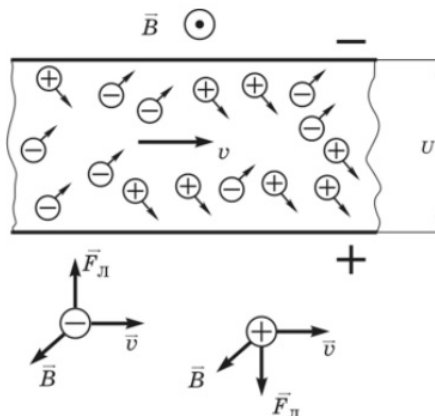


Рис. 1. Движение крови в сосудах

Возникновение эффекта Холла обусловлено разделением зарядов по противоположным стенкам кровеносного сосуда под действием магнитного поля. Разделение зарядов приведет к возникновению холловского напряжения U и появлению электрического поля с напряженностью \vec{E} . Со стороны электрического поля на заряженную частицу будет действовать $\vec{F}_{эл}$, равная по величине $F_{эл} = qE$. Величина напряжения пропорциональна значению силы Лоренца $\vec{F}_л$, а, следовательно, скорости движения заряженных частиц \vec{v} . Поскольку в крови имеются положительные и отрицательные ионы, этот эффект проявляется и в движущейся по сосуду крови, что позволяет изменению холловского напряжения определять скорость кровотока [4]. Учитывая, что напряженность можно выразить отношением напряжения Холла к величине диаметра сосуда, а величина напряженности электрического поля будет увеличиваться до тех пор, пока возникшая сила электрического поля не уравнивает силу Лоренца $F_{эл} = F_л$, скорость кровотока можно выразить следующей зависимостью

$$v = \frac{U}{Bd},$$

где U – холловское напряжение;
 B – величина магнитной индукции;
 d – диаметр сосуда.

Под влиянием магнитной силы в крови появляются слабые токи, вследствие которых наблюдается увеличение скорости передвижения кровяных клеток по сосудам человека. Магнитное воздействие также позволяет улучшить эластичность сосудов и расширить систему капилляров. Это позволяет применить магнитодинамический метод для выявления тромбообразований и положить его в основу при разработке системы реабилитации больных в постковидный период. Анализ существующих магнитотерапевтических аппаратов BTL-5940 MAGNET (компания BTL Industries Limited, Великобритания), EasyQs (компания ASA, Италия), Алмаг-01, Диамаг (ЕЛАМЕД, Россия), Вега Плюс (Россия) и др., показал, что недостатками существующих аппаратов для магнитотерапии является отсутствие канала контроля параметров магнитного поля и канала магнитодиагностики, поэтому разработка направлена на создание магнитотерапевтической системы для коррекции последствий болезни в сосуди-

стных системах, отличающейся возможностью отслеживания параметров терапевтического воздействия и регистрацией тромбов в сосудах.

Таким образом, разрабатываемая магнитотерапевтическая система состоит из трех каналов: канала магнитотерапевтического воздействия, канал контроля параметров магнитного поля, канал диагностики тромбообразования.

Канал магнитотерапевтического воздействия состоит из блока управления и индикации, микроконтроллера, цепи управления индукторами, непосредственно, самих индукторов и устройства отслеживания величины магнитной индукции. С помощью блока управления и индикации, который содержит кнопки и жидкокристаллический индикатор, задаются параметры магнитотерапевтического воздействия. Далее сигнал передается по шине на микроконтроллер. Микроконтроллер запускается и проверяет величину магнитной индукции на индукторе с помощью устройства отслеживания величины магнитной индукции, который включает в себя датчик Холла. Если величина магнитной индукции отклоняется от заданной, то микроконтроллер запускает или выключает цепь управления индуктором, далее индуктор воздействует магнитным полем на биообъект, то есть пациента.

Канал контроля параметров магнитного поля включает в себя датчик Холла, с помощью которого контролируются параметры магнитного поля. Сигнал поступает в нормирующий-согласующий преобразователь, который состоит из усилителя и фильтра нижних частот, для того чтобы согласовать уровень сигнала для восприятия аналогово-цифровым преобразователем. Для получения информации в виде цифровой совмещают две операции: дискретизацию и квантование, т.е. в дискретные моменты времени производят квантование по уровню. Совокупность значений числовых эквивалентов в дискретные моменты времени называется цифровым представлением непрерывной величины. Аналого-цифровой преобразователь (АЦП) предназначен для преобразования непрерывной величины в числовой эквивалент. Числовой эквивалент подается на устройство сбора и обработки информации в виде кода.

Основным элементом канала контроля и канала магнитодиагностики является датчик Холла. Датчики магнитного поля, использующие эффект Холла, относятся к активным датчикам, так как они сами вырабатывают измерительное напряжение, связанное с магнитным полем.

Таким образом, в работе обоснована необходимость комплексного подхода в диагностике состояния пациентов в постковидный период, предложен вариант построения терапевтической системы на основе магнитодинамического метода, включающий как диагностирующие, так и терапевтические каналы. Данная разработка поможет проводить постковидную реабилитацию кровеносных сосудов для улучшения кровоснабжения и снизить риск тромбообразования.

Библиографический список

1. Временные клинические рекомендации Минздрава России. [Электронный ресурс]: Медицинская реабилитация при новой коронавирусной инфекции (COVID-19). Версия 2.0. от 31.07.20. Режим доступа: <https://rehabrus.ru/Docs/2020/vmr-po-mr-19062020.pdf>, свободный. Дата обращения: 15.10.2021 г.
2. Габдрахманова А.Р., Тюрина М.М., Поронов А.А. Особенности задачи реабилитации постковидных осложнений на основе магнитодинамического метода // Биотехнические, медицинские и экологические системы, измерительные устройства и робототехнические комплексы – Биомедсистемы-2021 [текст]: сб. тр. XXXIV Всерос. науч.-техн. конф. студ., мол. ученых и спец., 8-10 декабря 2021 г. / под общ. ред. В.И. Жулева. – Рязань: ИП Коняхин А.В. (BookJet), 2021. – 412 с. С 55-58.
3. Сыроватка В. Н., Варсан Е. В., Зубова Т. А. Моделирование магнитоэлектрического датчика для мониторинга сердечно-сосудистой системы человека // Молодой исследователь Дона №6 (15) 2018 – С. 54-61.
4. Аникина Н.Ю., Коровина В.А. и др. Гидродинамика. Физические основы гемодинамики: учебно-методическое пособие / Н.Ю. Аникина и др. – Архангельск: Изд-во Северного государственного медицинского университета, 2021. – 111 с.

УДК 621.317.616; ГРНТИ 47.47

КОНСТРУКТИВНЫЕ ОСОБЕННОСТИ АНАЛИЗАТОРОВ ЦВЕТА ДИФФУЗНО-РАСSEИВАЮЩИХ СВЕТ ОБЪЕКТОВ

Н.В. Андреев, Е.И. Чернов

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

Аннотация. В работе рассматриваются конструктивно-технологические особенности построения анализаторов цвета необходимых для реализации алгоритмов регистрации исходных оптических характеристик.

Ключевые слова: конструкция, оптические приборы, проектирование, функциональные блоки, сигналы, свет, спектральный анализ.

DESIGN FEATURES OF COLOR ANALYZERS OF DIFFUSE-SCATTERING OBJECTS

N.V. Andreev, E.I. Chernov

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

The summary. The paper discusses the design and technological features of the construction of color analyzers necessary for the implementation of algorithms for recording the initial optical characteristics.

Keywords: construction, optical devices, design, functional blocks, signals, light, spectral analysis.

Фундаментальные исследования, проводимые в области радиофизики, оптоэлектроники, квантовой электроники, физики полупроводниковых материалов и тонких пленок, открыли широкие перспективы для дальнейшего развития спектрофотометрии, рефрактометрии, фотоколоритмики и т.п. основанных на анализе спектра направлениях. Это увеличивает реальную перспективу и возможность решения многих технических задач в области фармацевтической и аналитической химии, стоматологии, промышленности. На основе открытых возможностей формируются конкретные технические требования для разработки более совершенных конструкций. Материал данной статьи служит в первую очередь для анализа и проектирования подобных устройств и механизмов.

Техническое решение этого устройства состоит в подаче излучения для освещения поверхности объекта и регистрации излучения на выходе приемного волокна, по параметрам которого судят о цвете объекта. Устройство для реализации этого способа содержит блок освещения, блок детектирования излучения, соединенный выходом с блоком управления и обработки сигналов, выход которого подключен к входу блока выходного устройства подсветки, приемный световод, выходное окно которого оптически соединено с входом блока детектирования излучения.

Осветительный блок

Задача оптимизации конструкции оптических устройств обычно сводится к нахождению среди множества рассмотренных вариантов единственного, который обеспечит выполнение задачи с предельной точностью при минимуме материальных затрат.

Выходное окно осветительного блока выполнено в виде цилиндра из оптически прозрачного материала с проходящим по его оси симметрии сквозным каналом для установки приемного световода, при этом высота цилиндра составляет не менее диаметра его базы.

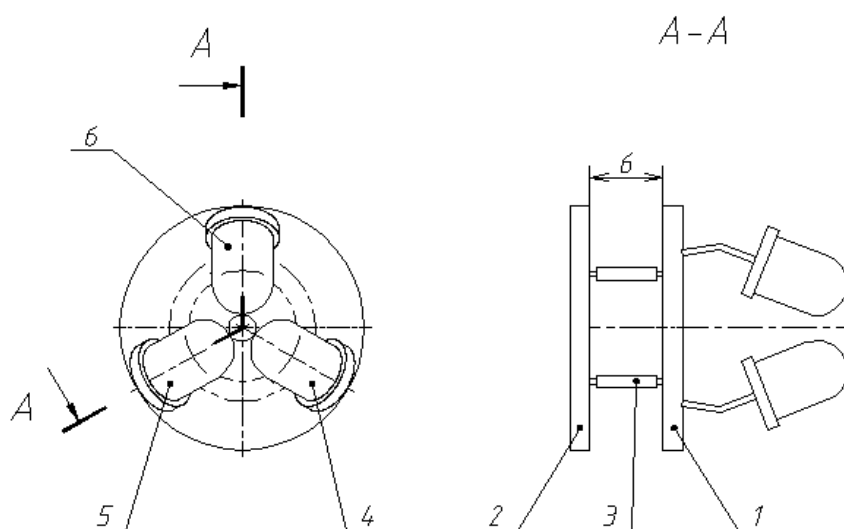


Рис. 1. Плата со светодиодами; 1 – плата светодиодов; 2 – плата резисторов; 3 – резистор; 4,5,6 – RGB светодиоды

В этом устройстве выходное окно осветительного блока и приемный световод установлены соосно по отношению друг к другу, а входное окно приемного световода предназначено для установки на поверхности объекта. Целесообразно, чтобы приемный световод выступал за выходное окно осветительного блока меньше, чем диаметр выходного окна осветительного блока.

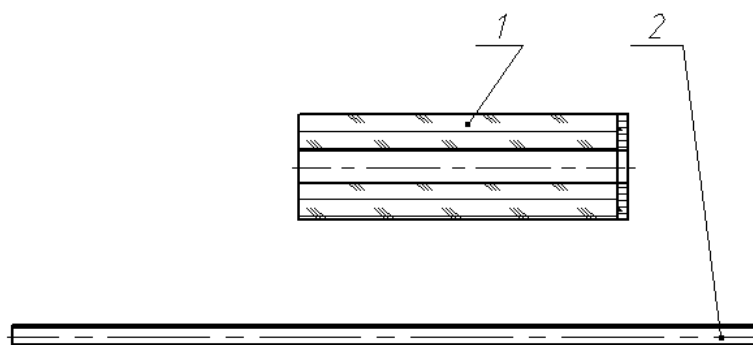


Рис. 2. 1 – Световод стеклянный; 2 – Трубка световода.

Световод — это устройство, ограничивающее диапазон распространения оптических колебаний и направляющее поток световой энергии в определенном направлении. Эта система должна быть полностью прозрачной, без царапин, сколов и царапин. Изготовлен из тонкого стекловолокна цилиндрической формы. Сигнал на выходе оптоволокна должен попадать прямо на детектор приходящего излучения.

Также необходимо добавить оптически прозрачную заглушку для защиты входного окна приемного световода, при этом входное окно приемного световода устанавливают с зазором от нижней части заглушки или в непосредственном контакте с указанным дном.

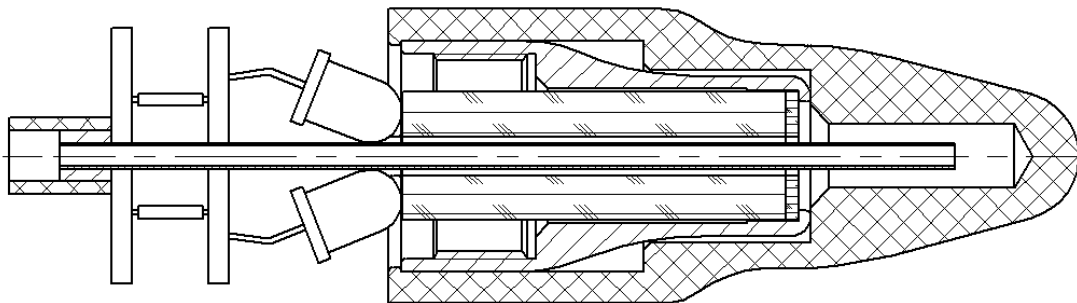


Рис. 3. Осветительный блок анализатора.

Таким образом в процессе компоновки и конструирования осветительного блока был произведен поиск принципиального и наиболее совершенного решения поставленной технической задачи.

Блок регистрации и обработки сигнала

Функциональное деление устройства на блоки и узлы осуществляется путем деления его на такие части, группа основных элементов которых выполняет самостоятельную функцию. Такой принцип функциональной компоновки увеличивает возможность использования одних и тех же сборочных единиц в новых системах с повторяющимися функциональными узлами. Изменение конструкции блока не влечет за собой перепроектирование других функциональных сборочных единиц и не влечет за собой модификации и перестройки всего изделия.

Блок регистрации излучения может быть выполнен на основе фотодиода и операционных усилителей с нормированием временного положения фронта импульса по известным схемам.

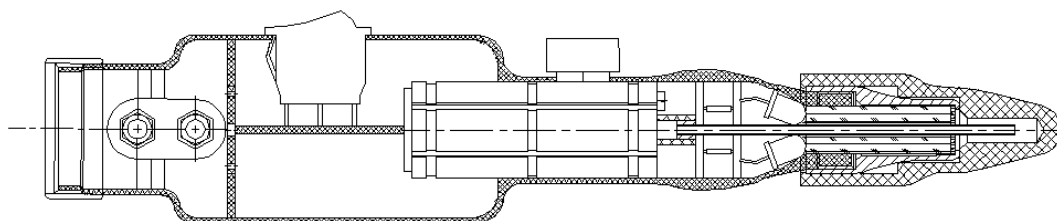


Рис. 4. Схема головки анализатора

В основе конструкции блока управления и обработки сигналов лежит плата микроконтроллера с аналого-цифровым преобразователем на аналоговом входе, цифровым дисплеем, кнопками включения/выключения и пуска. Одна часть микроконтроллера подключена к светодиодам через балластные резисторы, вторая часть выходов подключена к входам дисплея. Аналоговый вход микроконтроллера подключен к выходу блока детектирования излучения. Кнопка запуска подключена к пусковому входу микроконтроллера.

Разработка данного проекта осуществлялась в связи с задачей повышения качества продукции и эффективности ее производства: снижение затрат, в том числе материалоемко-

сти; уменьшение объема и веса; Расширение охвата базы микроэлектроники за счет повышения уровня интеграции; гарантировать высокую технологичность, однородность структуры; максимальное использование стандартизации.

Библиографический список

1. Поляков К.П. Конструирование приборов и устройств радиоэлектронной аппаратуры. – М.: Радио и связь, 1982. – 240 с., ил.
2. Пат, РФ 2207528. Способ определения цвета объектов и устройство для его осуществления /Е.И.Чернов, О.Л.Головков, В.К.Леонтьев, В.В.Садовский. Оpubл. 2003, Бюл. 18.
3. Фролов А.Д. Теоретические основы конструирования и надежности радиоэлектронной аппаратуры. – М.: Высшая школа, 1970.
4. Блиникова А.А. Спектрофотометрия и фотоэлектроколориметрия в анализе лекарственных средств: Учебное пособие. – Томск, 2005. – 96 с.
5. Синяк М.А. Спектрофотометр: взгляд изнутри// “Publish” – 200 г., 2.

УДК 621.317.421.2

ЦИФРОВАЯ СИСТЕМА МОНИТОРИНГА ЭЛЕКТРОМАГНИТНОГО ЗАГРЯЗНЕНИЯ

Д.А. Азаров, Е.И. Чернов

*Рязанский государственный радиотехнический университет им. В.Ф. Уткина,
Российская Федерация, Рязань, nag.aza@yandex.ru, instpi@yandex.ru*

Аннотация. Разработана система для измерения магнитной составляющей электромагнитного поля. Данная система способна измерять по трём основным осям X, Y и Z.

Ключевые слова: электромагнитное поле, расположение в пространстве.

DIGITAL ELECTROMAGNETIC POLLUTION MONITORING SYSTEM

D.A. Azarov, E.I. Chernov

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

Annotation. A system for measuring the magnetic component of the electromagnetic field has been developed. This system is capable of measuring along three main axes X, Y and Z.

Keywords: electromagnetic field, location in space.

Электромагнитное поле искусственного происхождения является важным значимым экологическим фактором с высокой биологической активностью. При длительном пребывании в поле оно оказывают пагубное влияние на организм человека.

Под влиянием электромагнитного излучения в крови возникают ионные токи, вызывающие нагрев тканей. Помимо теплового воздействия, электромагнитное излучение оказывает негативное воздействие на нервную систему, вызывает нарушение функций сердечно-сосудистой, эндокринной, иммунной и половой систем, а также обмена веществ.

Долгое воздействие на человека электромагнитного поля приводит к повышенной утомляемости, болям в области сердца, изменению кровяного давления и пульса.[1]

Измерение индукции электромагнитного поля является актуальной задачей, т.к. человек его не видит и не чувствует и именно поэтому не всегда предостерегается от опасного воздействия поля.

В данной работе была разработана система для измерения индукции электромагнитного поля от бытовых приборов. Диапазон измерения индукции поля составляет ± 100 нТл с частотой до 100 кГц.

Устройство и принцип работы

Функциональная схема устройства представлена на рисунке 1.

В качестве датчика для измерения индукции электромагнитного поля используется индукционная катушка. Для измерения по трём осям X, Y и Z таких датчиков поставлено три.

Вычисление индукции электромагнитного поля осуществляется по следующей формуле

$$B = \sqrt{B_x^2 + B_y^2 + B_z^2}, (1)$$

где B_x , B_y и B_z – это значения индукции электромагнитного поля по осям X, Y и Z соответственно.[2]

Усилитель необходим для усиления выходного сигнала с датчика.

Для фиксации амплитудного значения сигнала используется пиковый детектор, что значительно снижает требование к частоте дискретизации АЦП. К нему подключён при транзистор служащий для сброса значения при поступлении сигнала с выхода микроконтроллера.

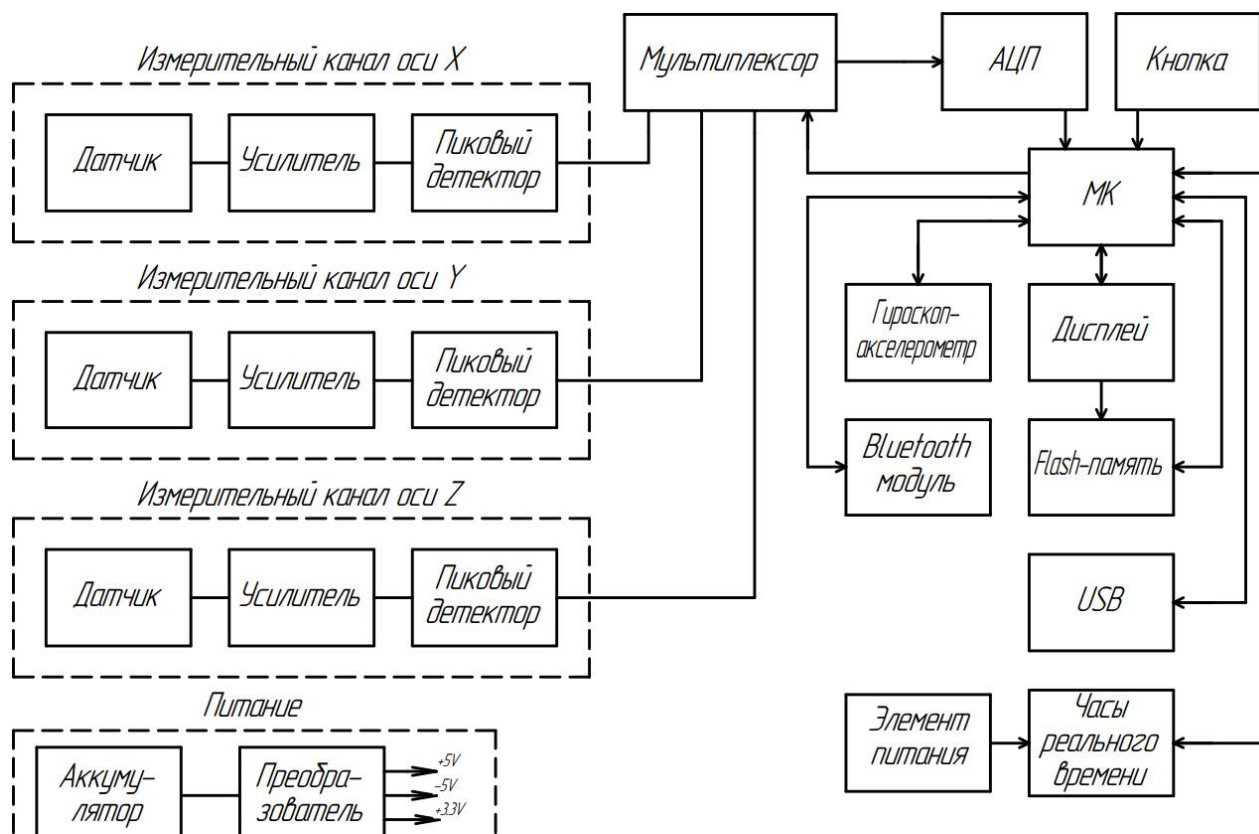


Рис. 1. Функциональная схема цифровой системы мониторинга электромагнитного загрязнения

Для снятия сигналов со всех трёх каналов X, Y и Z используется мультиплексор. По командам микроконтроллера он будет последовательно переключать каналы.

Для преобразования сигналов с каналов X, Y и Z в цифровой вид используется АЦП. Для обеспечения измерения с разрешением 10 нТл используемый АЦП имеет разрядность 16 бит.

Основные вычислительные действия выполняет 32 битный микроконтроллер со встроенными часами реального времени, которые нужны для фиксации времени измерения. К

часам реального времени подключается отдельный элемент питания CR2032 для независимости от общей системы питания.

В начале микроконтроллер выбирает канал, с которого будет получать оцифрованные данные. Он делает это до тех пор, пока не получит данные со всех трёх каналов X, Y и Z. При переключении на выбранный канал, МК подаёт сигнал для сброса других пиковых детекторов.

Измерительная информация выводится на дисплей. Измерительной информацией являются значения с каналов X, Y и Z и значение, рассчитанное по формуле 1.

Изначально, во включённом состоянии, устройство никаких измерений не осуществляет. Для того, чтобы устройство начало измерять, необходимо нажать на кнопку. Чтобы устройство прекратило измерять, необходимо также нажать на кнопку.

Для хранения измерительной информации и последующей передачи её по USB каналу применяется flash-память.

Для определения положения устройства, т.е. угла его наклона, используется гироскоп-акселерометр.

Для определения расположения устройства в пространстве стоит Bluetooth модуль версии 5.1. Частота излучения Bluetooth значительно превышает верхнюю частоту измерения датчика, поэтому это излучение не повлияет на результаты измерений. Определение расположения осуществляется AoA (Angle of Arrival) методом.

Методика AoA заключается в определении направления, с которого был принят Bluetooth-пакет относительно ориентации приемного узла. Для реализации технологии используется набор антенн с определенными характеристиками, при этом приемник быстро переключается между отдельными антеннами, одновременно измеряя фазовый сдвиг принимаемого сигнала, обусловленный небольшими различиями в длине пути сигнала для разных антенн.

В зависимости от количества антенн измерения могут проводиться с помощью трилатерации или триангуляции, изображённых на рисунке 2.

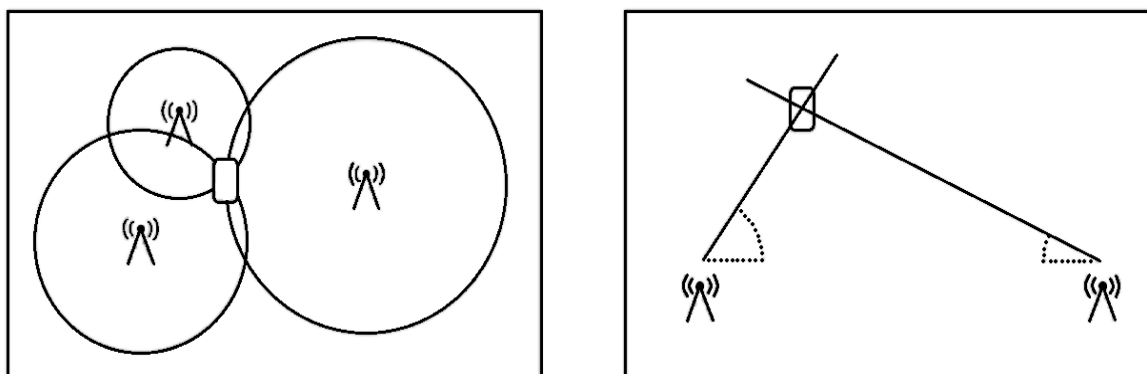


Рис. 2. Трилатерация или триангуляция

При трилатерации определяется расстояние между опорными узлами и целевым узлом. Возможное местоположение целевого узла – на пересечении окружностей с радиусами, равными расстоянию до соответствующих узлов. Обычно требуются три опорных узла. При триангуляции определяется направление от опорных узлов до целевого, и положение целевого узла будет на пересечении лучей, проведенных от опорных узлов в направлении целевого. Для локализации целевого узла достаточно двух узлов опорных точек.

Для обеспечения определения расположения устройства антенны расставляются по помещению, в котором происходит измерение. Определение расположения осуществляется другим вычислительным устройством (ПК или ноутбуком).

Питание устройства осуществляется с помощью Li-pol аккумулятора, обеспечивая портативность, и DC/DC преобразователей на 3,3 В и ± 5 В, т.к. питание аналоговой части происходит от 3,3 В, а цифровой ± 5 В.

Погрешность устройства обуславливается в большей степени погрешностью датчика. Погрешность датчика может быть обусловлена не идеальностью формы сердечника, его неравномерностью распределения магнитной проницаемости, изменение геометрических размеров сердечника при изменении температуры, не идеальностью катушки измерительной катушки.

Библиографический список

1. Чалимова Р.А. Влияние искусственных и естественных электромагнитных полей на живые организмы. Журнал Физика М. № 21-2002г.
2. Левшина Е. С., Новицкий П. В. Электрические измерения физических величин: (Измерительные преобразователи). Учеб. пособие для вузов. –Л.; Энергоатомиздат. Ленингр. отд-ние, 1983. -320 с.

УДК 616.28; ГРНТИ 76.13.25

ПРИБОР ДЛЯ РЕГИСТРАЦИИ СЛУХОВЫХ ВЫЗВАННЫХ ПОТЕНЦИАЛОВ С КАНАЛОМ ФОРМИРОВАНИЯ ЗВУКОВОГО СТИМУЛА

И.Д. Дмитриевский

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

Аннотация. Целью работы является разработка более нового совершенного прибора цифровой регистрации слуховых вызванных потенциалов с каналом формирования звукового стимула, отвечающего современным требованиям к медицинским устройствам.

Ключевые слова: слух, слуховые вызванные потенциалы (СВП), электроэнцефалоаудиометрия.

A DEVICE FOR RECORDING AUDIO EVOKED POTENTIALS WITH A CHANNEL FOR SOUND STIMULUS FORMATION

I.D. Dmitrevskii

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

The summary. The aim of the work is to develop a newer advanced device for digital recording of auditory evoked potentials with a channel for the formation of a sound stimulus that meets modern requirements for medical devices.

Keywords: hearing, auditory steady-state responses (ASSR), electroencephaloaudiometry.

В некоммерческих медицинских учреждениях оборудование либо отсутствует, либо объективно устарело, поэтому требуется разработать новое современное оборудование, отвечающее современным стандартам качества. Прибор должен быть разработан на современном микроконтроллере, включать в себя высокоинформативный дисплей, иметь связь с ПК и периферийными устройствами, в том числе USB – носителями. Погрешность такого прибора должна быть минимальна, а сам он должен иметь эргономичный внешний вид.

Слуховые вызванные потенциалы (СВП) – это колебания электрического напряжения (потенциала), возникающие в слуховых восходящих путях в ответ на звуковые стимулы, начиная от волосковых клеток улитки внутреннего уха и заканчивая в слуховой зоне коры головного мозга. Эти электрические колебания в экспериментальных условиях могут быть зарегистрированы непосредственно с нейронов (нервных клеток), но в клинической практике СВП регистрируют с поверхности кожи при помощи электродов. СВП возникают почти

мгновенно после начала звукового стимула и продолжаются примерно одну секунду или 1000 миллисекунд (одна миллисекунда – тысячная секунды) по мере прохождения возбуждения от волосковых клеток до слуховой зоны коры головного мозга. СВП характеризуются латентностью и амплитудой [1].

Латентность СВП – это время их возникновения относительно момента подачи звукового стимула, измеряемая в миллисекундах (мс). Одна миллисекунда – тысячная доля секунды. Она зависит от места происхождения (генерации) потенциала – чем выше уровень в слуховой системе, тем длиннее латентность. Ранние СВП происходят из улитки внутреннего уха, слухового (восьмого) нерва и ствола головного мозга, средние и поздние – из подкорковых структур и слуховой коры головного мозга.

Амплитуда СВП – это величина отклонения электрического напряжения (потенциала) между измеряющими (активными) электродами относительно нейтрального электрода. Она измеряется в микровольтах (мкВ). Один микровольт – миллионная доля вольта. Амплитуда СВП зависит от места их происхождения – чем выше уровень генерации, тем больше амплитуда СВП, что связано с возрастанием количества нейронов на разных уровнях слуховой системы.

Латентности и амплитуда СВП существенно зависят от силы (уровня) звукового стимула: чем сильнее стимул, тем короче латентность и выше амплитуда СВП.

Ранние СВП появляются с самой короткой латентностью до 10-30 мс. Поэтому они получили название коротколатентных СВП (КСВП). Они почти полностью формируются во внутриутробном развитии плода, а потому аналогичны по форме для всех возрастных групп, включая новорожденных (хотя и имеют некоторые возрастные различия). Ранние СВП регистрируются независимо от сна и бодрствования, слухового опыта, внимания к звуковому стимулу, а также имеют очень небольшие межиндивидуальные отличия (между разными людьми). Это определяет их высокую стабильность и надежность применения в клинической практике.

Поздние СВП имеют длинную латентность и получили также название средне- и длиннolatентных СВП. Они не полностью формируются к моменту рождения и существенно изменяются (созревают) по мере развития слухового анализатора, регистрируются только в состоянии бодрствования, но не регистрируются во сне. Поздние СВП сильно зависят от возраста, слухового опыта, внимания испытуемого к звуковому стимулу, существенно отличаются у разных людей. Поэтому, несмотря на потенциально большую ценность, они пока применяются только в научных исследованиях и не получили широкого клинического применения в медицинской сурдологической (аудиологической) практике.

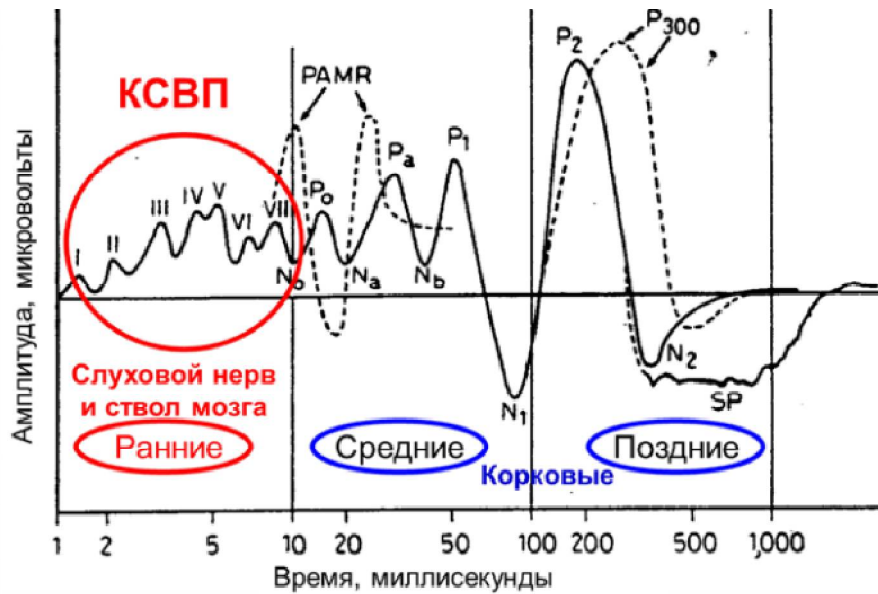


Рис. 1. Расположении электродов: мастоид – вертекс – висок (нейтральный).
Усреднение 1000 ответов [2]

Сигналы СВП очень слабые, многократно меньше фоновой электрической активности, исходящей от мозга (электроэнцефалограмма, ЭЭГ) и мышц (электромиограмма, ЭМГ) обследуемого, а также окружающих электромагнитных полей (ЭМП) и собственного электрического шума регистрирующего прибора.

Электроэнцефалоаудиометрия – процедура, позволяющая зафиксировать вызванный потенциал (рисунок 2) слуховых зон коры мозга (в процессе её проведения производится запись электроэнцефалограммы) [3].

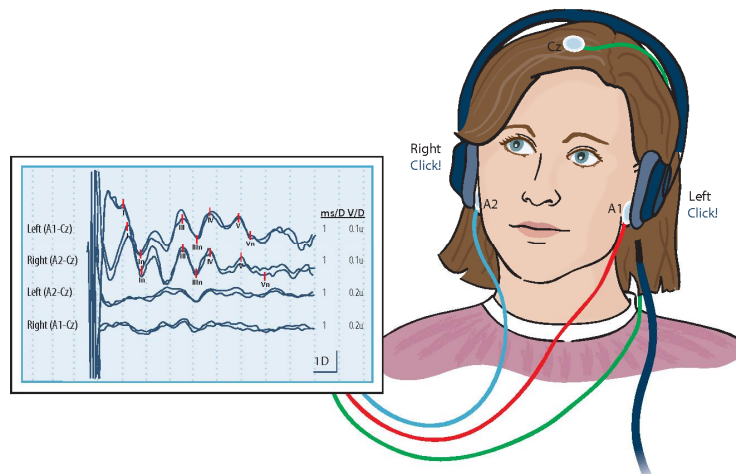


Рис. 2. Обследования слуха на основе регистрации коротколатентных слуховых вызванных потенциалов (КСВП)

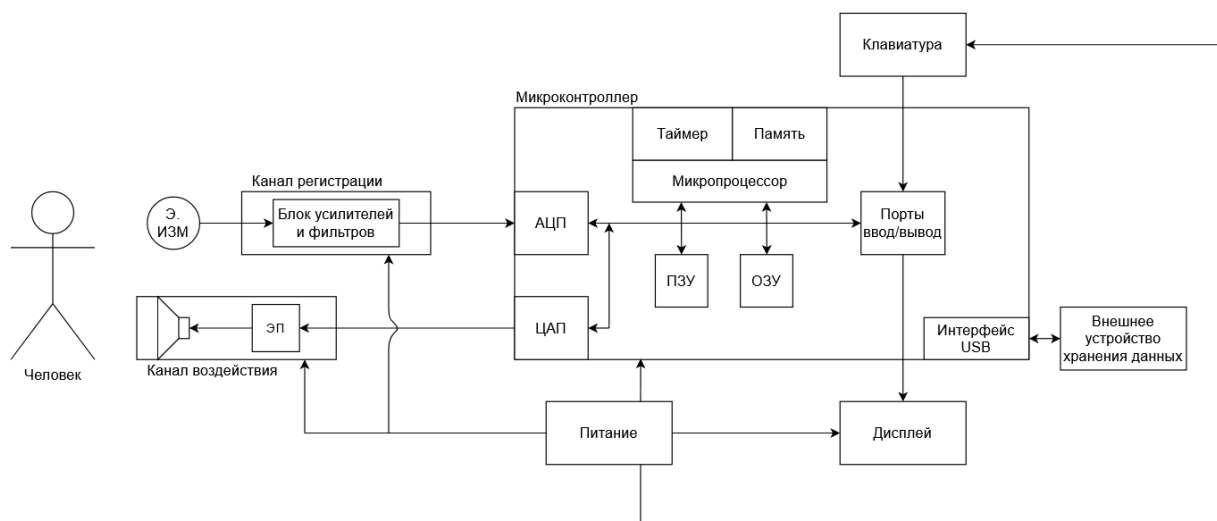


Рис. 3. Структурная схема цифрового аудиометра с регистрацией отоакустической эмиссии

Проектируемый прибор является самостоятельным портативным устройством, предназначенным для анализа слуховой системы человека. На рисунке 3 представлена структурная схема разрабатываемого аудиометра. Основной аппаратной частью устройства является микроконтроллер (МК), который будет обрабатывать исходящие/входящие сигналы устройства. Управление прибором осуществляется с помощью клавиатуры. Для отображения информации используется дисплей. Прибор также должен иметь интерфейс USB для передачи информации на внешние устройства. Канал воздействия состоит из эмиттерного повторителя (ЭП) на базе р-п-р – транзистора и динамика, который будет воспроизводить необходимые частоты. Регистрации СВЧ происходит с помощью электродов измерения (Э. ИЗМ.), после сигнал с электродов обрабатывается в блоке регистрации, состоящий из усилителей и фильтров. Ко всем элементам устройства подведено питание. Питание должно быть, как автономным, так и с возможностью подключения к сети через блок питания.

Выводы

Разрабатываемый прибор отвечает всем современным требованиям и прекрасно подойдет для массовых обследований слуха взрослых и детей в медицинских учреждениях и родильных домах.

Библиографический список

1. AURORA [электронный ресурс] / Исследование слуха методом КСВП. – Режим доступа: <https://aurora.ua/ru/>
2. Адаптировано Ю. Соколовым из источника: JonShallop (1983). Electric Response Audiometry: The Morphology of Normal Responses.
3. Московский государственный университет им. М.В. Ломоносова – Анатомия, физиология, и патология органов слуха.

УДК 612.766.1; ГРНТИ 76.13.25

ЧАТ-БОТ ДЛЯ ПОДДЕРЖКИ ФИЗИЧЕСКОЙ РЕАБИЛИТАЦИИ КОЛЕННОГО СУСТАВА

М.С. Ашапкина*, А.В. Алпатов**

* Рязанский государственный радиотехнический университет имени В.Ф. Уткина,
Россия, Рязань, info@nefitness.ru

** Рязанский государственный медицинский университет им. академика И.П. Павлова,
Россия, Рязань, info@nefitness.ru

Аннотация. В данной работе рассматривается задача реализации чат-бота в рамках мессенджера Telegramm для поддержки физической реабилитации коленного сустава. Такой подход позволяет обеспечить масштабирование сервиса на большое количество заинтересованных пользователей без необходимости установки дополнительных приложений на смартфон. При этом предполагается, что процесс выполнения реабилитации должен выглядеть также привычно, как текстовое общение.

Ключевые слова: физическая реабилитация, удаленная лечебная физкультура, коленный сустав, телемедицина, мессенджер, чат-бот, Telegramm.

CHAT-BOT TO SUPPORT PHYSICAL REHABILITATION KNEE JOINT

M.S. Ashapkina*, A.V. Alpatov**

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

** Ryazan State Medical University,
Russia, Ryazan, info@nefitness.ru

The summary. This article discusses the implementation of a chat-bot within the Telegramm messenger to support the physical rehabilitation of the knee joint. This approach allows the service to be scaled to a large number of interested users without the need to install additional applications on a smartphone. At the same time, it is assumed that the process of performing rehabilitation should look as familiar as text communication.

Keywords: physical rehabilitation, online exercise therapy, knee joint, telemedicine, chat-bot, Telegramm.

Мотивация

В рамках развития телемедицинских технологий в медицинскую практику идет активное внедрение применения естественных диалоговых систем или чат-ботов [1, 2]. Востребованность медицинских чат-ботов увеличивается по мере того, как все больше количество людей подключаются к системам быстрого обмена текстовыми сообщениями – мессенджером. В нашей стране широко используются три таких сервиса: WhatsApp, Viber и Telegramm, сервисы перечислены в порядке популярности.

Основная задача чат-бота – это автоматизировать рутинные процессы клиники и ее врачей. Как правило, эта такая технология используется для записи к врачу, получение информации об обследованиях, первичный сбор анамнеза, ответы на типовые вопросы, проведения опросов, уровень болевых симптомов, субъективная оценка пациентом об эффективности выполнения индивидуального плана восстановительных занятий, фото- и видеоматериалы. Часто технология чат-бота встроена в мобильные приложения конкретных медицинских сервисов или клиник.

В данной статье рассматривается реализация чат-бота в рамках мессенджера Telegramm для поддержки физической реабилитации коленного сустава. Такой подход позволяет обеспечить масштабирование сервиса на большое количество заинтересованных пользователей без необходимости установки дополнительных приложений на смартфон. При этом предполагается, что процесс физической реабилитации должен выглядеть также привычно, как текстовое общение.

Проблема нарушения непрерывности физической реабилитации

Физическая реабилитация – это длительный процесс, включающий в себя стационарный и амбулаторный периоды. При этом в большинстве случаев качественные реабилитационные услуги представляются только в крупных городах России. После стационара пациенты лечатся амбулаторно и, как правило, без контроля со стороны врача и, как следствие, остаются «один на один» со своей проблемами:

1. Отсутствием доступности реабилитационных центров для регулярного посещения, как расстояние, так и наличие соответствующего врача.
2. Необходимостью постоянного контроля со стороны медицинского специалиста за состоянием пациента во время физической реабилитации для сохранения непрерывности всех стадий реабилитации [3].

Наличие данных проблем требует поиска новых технических решений и внедрение доступных способов физической реабилитации для объективного контроля процесса восстановления пациента в амбулаторный период. Данные проблемы может решить с помощью дистанционного сопровождения физической реабилитации.

Современные технологии позволяют организовать реабилитационные мероприятия на дому у пациента с удаленной ассистенцией врача. Например, использование систем видеofиксации выполнения упражнений, система видеоконференц-связи и даже мобильных тренажеров. Однако это довольно дорогие решения, которые оправдывают себя при сложных случаях и, как правило, редко используются в обычной жизни, оставаясь экзотическим решением домашней реабилитации "не для всех". Очевидно, что для любой реабилитационной технологии важна ее доступность и масштабируемость.

Концепция реабилитационного чат-бота

В основе любого чат-бота, работающего в системах мгновенного обмена сообщениями лежит вопросно-ответная схема [4]. Чат-бот предлагает набор доступных действий, пользователь реагирует на них, путем ввода соответствующих фраз или команд, т.е. технически чат-бот представляет собой конечный автомат. Особенность технической реализации чат-бота для физической реабилитации предполагает не общение, а выдачу инструкций по выполнению упражнений.

Для максимального эффекта инструкция выполнится в виде видеоролика с упражнением, рассчитанным на определенную длительность. Ролик должен содержать шкалу времени, на которую ориентируется пользователь и рекомендованное количество повторов упражнений. Для этих задач подходит автомат детерминированного типа, на основе скриптовой логики.

Схема реализации такой концепции показана на рисунке 1.

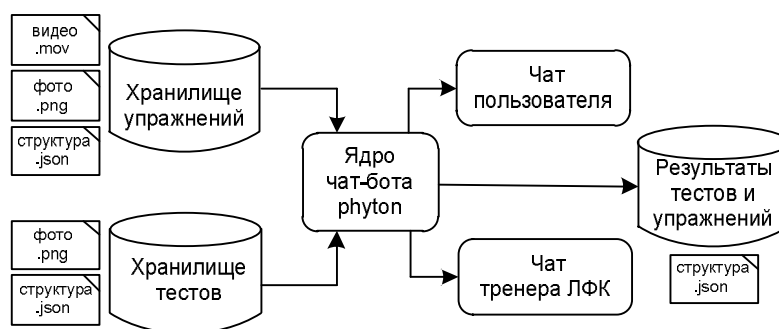


Рис. 1. Схема реализации чат-бота для выполнения физических упражнений

Также чат-бот должен поддерживать средства тестирования уровня восстановления подвижности сустава. Конечно в рамках чат-бота нет возможности получения объективной обратной связи о факте выполнения теста, поэтому тест должен быть максимально простым и эффективным. После выполнения теста пользователь должен ввести его результат в диалоговом режиме. Результат теста должен быть представлен одной цифрой.

Реализация тестирования

В рамках задачи проектирования тестов для реабилитационного чат-бота было выбрано два теста, которые реализуются в рамках чат-бота и способны дать объективную информацию о состоянии коленного сустава: “Тест на удержание коленного сустава”, “Тест 5 приседаний” [5].

Соответствующие экранные формы тестов показаны на рисунке 2.

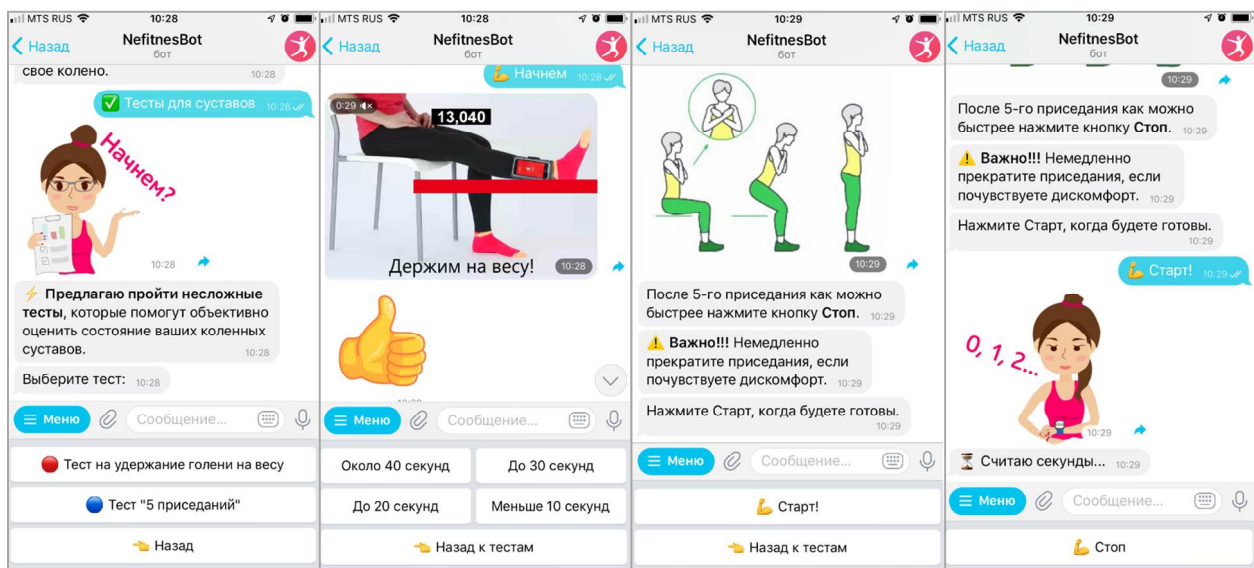


Рис. 2. Экранные формы процесса тестирования

В первом тесте пользователь должен зафиксировать время, которое он способен комфортно удерживать голень на весу, будучи в сидячем положении. Для этого не нужно использование сторонних таймеров, обратный отчет показывается непосредственно в видеоролике теста в виде полоски прогресса и таймера. Второй тест происходит на новом уровне интерактивности – после того, как пользователь выполнит 5 приседаний, он останавливает счетчик времени чат-бота и автоматически получает результат теста. Далее результаты теста могут быть отправлены в виде отчета лечащему врачу ЛФК по электронной почте.

Реализация выполнения комплекса упражнений

Для чат-бота была разработана матрица восстановительных упражнений для колена. При выборе упражнений исходили из следующих критериев:

- не должны содержать сложных движений;
- должны создавать сбалансированную нагрузку;
- должны выполняться в различных позах;
- должны поддерживать удержание конечности на весу.

В результате были выбраны 23 упражнения, которые объединены в три восстановительных комплекса: утро, день вечер. Соответствующие экранные формы тестов показаны на рисунке 3.

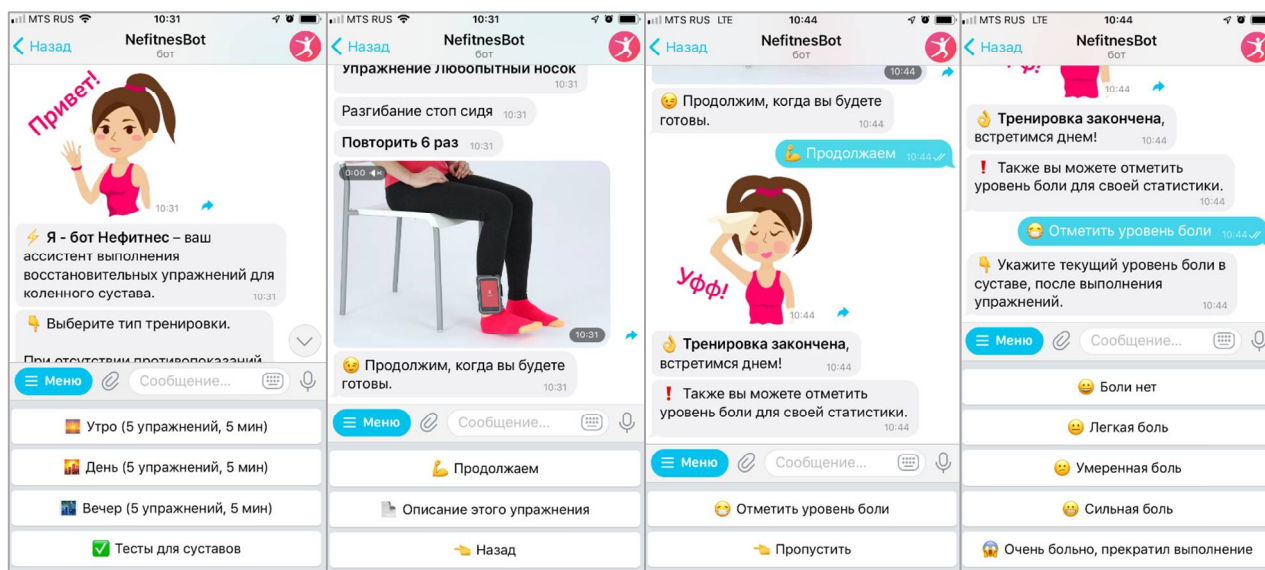


Рис. 3. Экранные форы процесса выполнения упражнений

После завершения комплекса пользователь может указать на степень комфортности выполнения с помощью простого опросника на боль.

Апробация чат-бота

В результате была разработана система, включающая три основных взаимосвязанных функциональных элемента [6]:

1. Чат-бот @NefitnesBot, поддерживающий базовые функции виртуального ассистента в виде структурированного набора упражнений для суставов, клинически апробированных тестов определения состояния суставов и опроса о текущем состоянии.

2. Комплекс упражнений, адаптированный для использования в системе удаленной реабилитации.

3. Сервер приложений, на котором расположены системы чат-ботов, хранилище видеороликов упражнений, метаданные упражнений, системы тестирования.

Прототип системы был протестирован совместно с кафедрой Общей хирургии Рязанского государственного медицинского университета им. академика И.П. Павлова. По результатам проведенного тестирования с использованием чат-бот и аналогичного по функциональности мобильного приложения «Нефитес для колена» была подготовлено и опубликовано учебное пособие [7].

Библиографический список

1. M.S. Ashapkina, A.V. Alpatov, V.A. Sablina, “Smartphone-based Systems for Knee Joint Physical Rehabilitation”, MECO 2020 – Budva, 2020, pp. 726-729.

2. M.S. Ashapkina, A.V. Alpatov, V.A. Sablina, A.A. Chekushin, “Quantative parameters developing for estimation of rehabilitation exercising on the basis of IMU sensor device”, MECO 2018 – Budva, 2018, pp. 541-544.

3. Алпатов А.В., Ашапкина М.С., Валиуллина С.А., Новосёлова И.Н Дистанционная физическая реабилитация в позднем периоде для подростков после травм позвоночника на основе смартфона // Биомедицинская радиоэлектроника. 2020. Т. 23. № 3. С. 75-84.

4. Patent WO2020/209743, 15.10.2020. Method for Rehabilitating and Restoring Physical Activity under Audiovisual Self-Control // International Application Number PCT/RU2019/000229. 10.04.2019. Application Number: A61B 5/11 (2006.01) / Ashapkina M.S., Alpatov A.V.

5. Ашапкина М.С., Алпатов А.В., Чекушин А.А. Система поддержки выполнения реабилитационных упражнений для коленного сустава на базе смартфона // Международный научно-прикладной журнал «Биомедицинская радиоэлектроника». Вып. 8. Москва: Изд-во «Радиотехника», 2018. С. 45-53.

6. НеФитнес [Электронный ресурс] URL: <https://vk.com/nefitnes> (дата обращения 17.02.2022).

7. Физическая реабилитация коленного сустава на базе мобильного приложения «Нефитнес» в режиме удаленного мониторинга: Учебное пособие для обучающихся по специальности 31.05.01 Лечебное дело / А.В. Федосеев, А.В. Алпатов, Т.Г. Авачёва, М.С. Ашапкина [и др.]; ФГБОУ ВО РязГМУ Минздрава России. Рязань: ОТСиОП, 2020. 120 с.

УДК 621.317.1: 621.3.087.92; ГРНТИ 90.27.34

МЕТОД ОПРЕДЕЛЕНИЯ МГНОВЕННЫХ ДИНАМИЧЕСКИХ ПОГРЕШНОСТЕЙ АЦП

А.М. Абрамов

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

Аннотация. В работе предложен метод определения мгновенных динамических погрешностей аналого-цифровых преобразователей.

Ключевые слова: динамические погрешности, АЦП, амплитуда, смещение, период, фаза.

METHOD TO DETERMINE ADC INSTANTANEOUS DYNAMIC ERRORS

A.M. Abramov

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

The summary. The paper offers method to determine instantaneous dynamic errors of analog-to-digital converters.

Keywords: dynamic errors, ADC, amplitude, offset, period, phase.

На сегодняшний день в России применяется большое разнообразие устройств аналого-цифрового преобразования (АЦП), изготовленных в основном за рубежом, в разных странах и компаниях [1]. Иностранные производители используют свои методики и нормы при определении метрологических характеристик АЦП [2,3], которые необходимо привести в соответствие с отечественными нормами для внесения приборов в реестр средств измерений РФ и дальнейшего их использования. Существующие методы определения динамических погрешностей АЦП в Госстандартах России [4,5] используют усредненные оценки, которые, как известно, нивелируют порой существенные выбросы мгновенных погрешностей, что, естественно, снижает доверие потребителей к таким оценкам. Поэтому возникает задача определения мгновенных динамических погрешностей АЦП во всем диапазоне испытания по скоростным и частотным характеристикам.

Основная идея метода заключается в сравнении зарегистрированного сигнала известной формы $x[j]$ на выходе испытываемого АЦП, с моделью этой формы $M[j]$, формируемой с помощью ЭВМ.

В качестве источника испытательного сигнала может использоваться генератор гармонических колебаний поверочного назначения, имеющий минимальные нелинейные искажения. Сигнал с него подается на испытываемый АЦП. Коды последнего заносятся в буферное запоминающее устройство в виде массива достаточного объема. Причем необходимо, чтобы весь массив укладывался в пределах не менее одного периода испытательного гармонического сигнала.

Так как сигнал $x[j]$ имеет гармоническую форму, то для модели достаточно задать четыре параметра: амплитуду A , смещение S , период T и начальную фазу φ . Можно, ко-

нечно, эти параметры сосчитать с генератора гармонических колебаний и ввести в компьютер (кроме фазы). Однако погрешность установки информативных параметров испытательного сигнала в генераторе испытательного сигнала и статические погрешности АЦП внесут существенные искажения в результаты измерений.

Поэтому принята другая методика определения этих параметров, основанная на их измерении непосредственно по зарегистрированному сигналу $x[j]$.

Наилучшее подобие сигналов достигается путем применения метода наименьших квадратов (МНК), итерационными процедурами с независимым подбором значений параметров A , S , T , φ модели, и поиском минимума величины

$$Q = \sum_j (x[j] - M[j])^2 \rightarrow \min.$$

Функция $M[j] = A \sin \left[\frac{2\pi}{T} j + \varphi \right] + S$ в данном случае выступает как аппроксимирующая, а величина Q представляется как функция нескольких искомых коэффициентов A , S , T , φ . Необходимо найти такой набор значений коэффициентов, при котором $Q = \min$.

Если предположить, что функция $M[j]$ дифференцируема по всем коэффициентам, то единственным выполнением условия минимума функции многих переменных $Q(A, S, T, \varphi)$ является равенство нулю ее частных производных по каждому неизвестному параметру:

$$\frac{\partial Q}{\partial A} = 0, \quad \frac{\partial Q}{\partial S} = 0, \quad \frac{\partial Q}{\partial T} = 0, \quad \frac{\partial Q}{\partial \varphi} = 0.$$

Эти равенства принято называть нормальными уравнениями.

Так как величина $Q \geq 0$ всегда, то задача разрешима (существует хотя бы один минимум) при условии выполнения предъявленных требований.

Дифференцируя величину Q по каждому искомому параметру можно записать систему нормальных уравнений в следующем виде:

$$\begin{cases} \frac{\partial Q}{\partial A} = \sum_j 2(x[j] - M[j]) \frac{\partial M[j]}{\partial A} = 0 \\ \frac{\partial Q}{\partial S} = \sum_j 2(x[j] - M[j]) \frac{\partial M[j]}{\partial S} = 0 \\ \frac{\partial Q}{\partial T} = \sum_j 2(x[j] - M[j]) \frac{\partial M[j]}{\partial T} = 0 \\ \frac{\partial Q}{\partial \varphi} = \sum_j 2(x[j] - M[j]) \frac{\partial M[j]}{\partial \varphi} = 0 \end{cases},$$

$$\begin{cases} \sum_j x[j] \frac{\partial M[j]}{\partial A} - \sum_j M[j] \frac{\partial M[j]}{\partial A} = 0 \\ \sum_j x[j] \frac{\partial M[j]}{\partial S} - \sum_j M[j] \frac{\partial M[j]}{\partial S} = 0 \\ \sum_j x[j] \frac{\partial M[j]}{\partial T} - \sum_j M[j] \frac{\partial M[j]}{\partial T} = 0 \\ \sum_j x[j] \frac{\partial M[j]}{\partial \varphi} - \sum_j M[j] \frac{\partial M[j]}{\partial \varphi} = 0 \end{cases}.$$

Поскольку аппроксимирующая функция $M[j]$ исходно аналитически задана и представляет собой гармонический сигнал, то можно получить выражения ее частных производных:

$$\begin{aligned} \frac{\partial M[j]}{\partial A} &= \sin\left[\frac{2\pi}{T}j + \varphi\right]; & \frac{\partial M[j]}{\partial S} &= 1; \\ \frac{\partial M[j]}{\partial T} &= A \cos\left[\frac{2\pi}{T}j + \varphi\right] \left(-\frac{2\pi}{T^2}j\right); \\ \frac{\partial M[j]}{\partial \varphi} &= A \cos\left[\frac{2\pi}{T}j + \varphi\right]. \end{aligned}$$

В результате нормальные уравнения примут вид:

$$\begin{cases} \sum_j x[j] \sin\left[\frac{2\pi}{T}j + \varphi\right] - \sum_j \left(A \sin\left[\frac{2\pi}{T}j + \varphi\right] + S\right) \sin\left[\frac{2\pi}{T}j + \varphi\right] = 0 \\ \sum_j x[j] - \sum_j \left(A \sin\left[\frac{2\pi}{T}j + \varphi\right] + S\right) = 0 \\ \sum_j x[j] A \cos\left[\frac{2\pi}{T}j + \varphi\right] \left(-\frac{2\pi}{T^2}j\right) - \\ - \sum_j \left(A \sin\left[\frac{2\pi}{T}j + \varphi\right] + S\right) A \cos\left[\frac{2\pi}{T}j + \varphi\right] \left(-\frac{2\pi}{T^2}j\right) = 0 \\ \sum_j x[j] A \cos\left[\frac{2\pi}{T}j + \varphi\right] - \sum_j \left(A \sin\left[\frac{2\pi}{T}j + \varphi\right] + S\right) A \cos\left[\frac{2\pi}{T}j + \varphi\right] = 0 \end{cases}.$$

Данная система уравнений нелинейная и для ее решения, т.е. отыскания экстремального значения функции, зависящей от ряда факторов, применимы только итерационные алгоритмы многомерного поиска. Среди существующих методов экспериментальной оптимизации широкое распространение имеет неградиентный метод Гаусса-Зайделя, вследствие своей простоты при практической реализации и достаточной помехоустойчивости. По этим соображениям он и был использован в методике.

Полученные, таким образом, коэффициенты аппроксимирующего уравнения используются для формирования математической модели $M[j]$ реального сигнала $x[j]$.

Далее вычисляется разность $\Delta[j] = x[j] - M[j]$, которая характеризует мгновенные значения погрешности регистрации формы испытательного сигнала. В $\Delta[j]$ присутствуют статические и динамические погрешности. Если статическую погрешность выявить по соответствующим методикам [6,7], то алгебраическую разность $\Delta[j]$ можно пересчитать и выделить исключительно динамическую составляющую $\Delta_{дин}[j]$, которая характеризует мгновенные значения динамических погрешностей

$$\Delta_{дин}[j] = \Delta[j] - \Delta_{ст}[j].$$

где $\Delta_{ст}[j]$ - статическая погрешность

Библиографический список

1. Штрапенин Г.Л. Быстродействующие аналого-цифровые преобразователи фирмы National Semiconductor // Компоненты и Технологии, 2005. № 6. С. 72-76.
2. IEEE Standard for Terminology and Test Methods for Analog-to-Digital Converters / IEEE Std 1241-2010 (Revision of IEEE Std 1241-2000) / IEEE Instrumentation & Measurement Society. New York, 2011. – 139 p.
3. IEEE 1057-2017 - IEEE Standard for Digitizing Waveform Recorders
4. ГОСТ 8.009-84. Государственная система обеспечения единства измерений. Нормируемые метрологические характеристики средств измерений. – М.: Издательство стандартов. 1985; переиздан Стандартиформ 2006. – 26 с. Статус: действует. Дата актуализации описания: 01.01.2018.
5. Грановский В.А. Динамические измерения: Основы метрологического обеспечения. – Л.: Энергоатомиздат. Ленингр. отд-ние, 1984. – 224 с.
6. Aleksey M. Abramov, Sergey G. Gurzhin, Vladimir I. Zhulev, Evgeniy M. Proshin, Andrey V. Shulyakov. Verification Method Implementation Based on Standard Virtual Measurement Instruments // 8th Mediterranean Conference on Embedded Computing (MECO), 2019.
7. Aleksey M. Abramov, Sergey G. Gurzhin, Vladimir I. Zhulev, Evgeniy M. Proshin, Andrey V. Shulyakov. Analysis of Metrological Test Method Accuracy // 9th Mediterranean Conference on Embedded Computing (MECO), 2020.

УДК 621.3.087.92; ГРНТИ 90.27.34

АНАЛИЗ ЭФФЕКТИВНОГО ЧИСЛА РАЗРЯДОВ АЦП

А.М. Абрамов

Рязанский государственный радиотехнический университет имени В.Ф. Уткина,
Российская Федерация, Рязань, abramov.a.job@yandex.ru

Аннотация. В работе рассчитывается эффективное число разрядов аналого-цифровых преобразователей.

Ключевые слова: динамические погрешности, АЦП, эффективное число разрядов, отношение сигнал/шум.

ANALYSIS OF ENOB ADC

A.M. Abramov

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

The summary. The paper calculates ENOB of analog-to-digital converters.

Keywords: dynamic errors, ADC, ENOB, SNR.

Широкое внедрение различных устройств аналого-цифрового преобразования (АЦП) электрических сигналов в цифровой осциллографии, в радиотехнических устройствах, в медицинской диагностической аппаратуре и др., создает необходимость у разработчиков новой

аппаратуры гарантированного знания действительных метрологических характеристик применяемых интегральных АЦП, особенно динамических [1].

Эффективное число разрядов – одна из важнейших характеристик АЦП в динамическом режиме работы [2]. Это обусловлено тем, что такая характеристика отражает суммарный эффект действия различных источников погрешностей:

- квантования;
- дифференциальной нелинейности в статическом режиме;
- интегральной нелинейности в статическом режиме;
- случайной инструментальной погрешности;
- динамической дифференциальной нелинейности;
- нелинейных искажений во входных аналоговых цепях;
- погрешности датирования отсчетов;
- выпадение кодов в динамическом режиме.

Эффективное число разрядов определяется разностью между реальными результатами преобразования испытательного синусоидального сигнала и моделью идеальной синусоидой, которая наилучшим образом аппроксимирует полученные выходные данные испытуемого АЦП. Результат вычисляется по погрешности преобразования синусоиды реальным и идеальным АЦП:

$$n_{эф} = n - \log_2 \frac{\text{фактическое...СКО}}{\text{идеальное...СКО}} = n - \log_2 \frac{\sigma_{\Delta}}{\sigma_q},$$

где n – фактическое число двоичных разрядов в статическом режиме;

σ_{Δ} – среднее квадратическое отклонение погрешности реального АЦП;

σ_q – среднее квадратическое отклонение погрешности квантования.

Эффективное число разрядов может быть представлено графической зависимостью от частоты сигнала (рисунок 1)

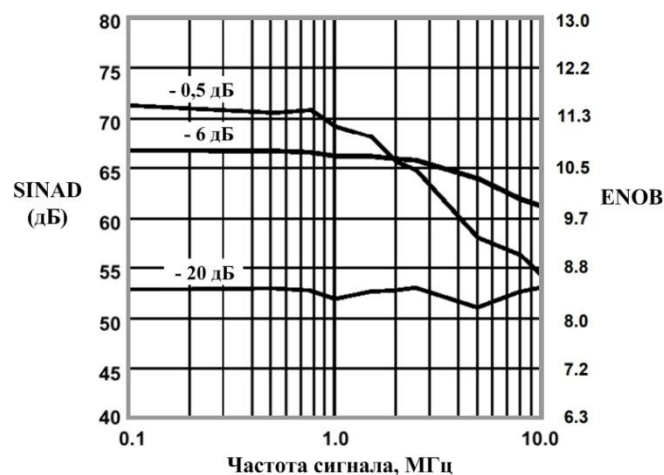


Рис. 1. ENOB при различных уровнях входного сигнала 12 разрядного АЦП AD9220

С числом эффективных разрядов связаны такие важные характеристики преобразования, как отношение сигнала к шуму и искажениям (SINAD) и отношение сигнал/шум (SNR)

$$\frac{\text{сигнал}}{\text{шум}} (\text{дб}) = 20 \lg \frac{\sigma_x}{\sigma_{\Delta}},$$

где $\sigma_x = \frac{x_m}{\sqrt{2}} = \frac{2^n q}{2\sqrt{2}}$ – действующее значение входного гармонического сигнала. С учетом этого отношение сигнал/шум определится

$$\frac{\text{сигнал}}{\text{шум}}(\text{дб}) = 20 \lg \frac{2^n q}{2\sqrt{2}\sigma_\Delta} = 20 \lg \frac{2^n 2\sqrt{3}\sigma_q}{2\sqrt{2}\sigma_\Delta} = 20 \left(\lg 2^n + \lg \sqrt{\frac{3}{2}} - \lg \frac{\sigma_\Delta}{\sigma_q} \right).$$

После преобразований окончательно получаем

$$\frac{\text{сигнал}}{\text{шум}}(\text{дб}) = 20 \lg 2 \left(n - \log_2 \frac{\sigma_\Delta}{\sigma_q} + \log_2 \sqrt{\frac{3}{2}} \right) = 6.02n_{\text{эф}} + 1.8$$

Поскольку в идеальном АЦП присутствуют только шумы квантования, то для идеального n - разрядного АЦП отношение сигнал/шум можно представить выражением

$$\frac{\text{сигнал}}{\text{шум}}(\text{дб}) = (6.02n + 1.8) \text{ дб}.$$

Для примера положим, что на вход идеального $n = 10$ – разрядного АЦП, с диапазоном преобразования от 0 значения до $2x_m$, поступает сигнал с нелинейного аналогового преобразователя (например, усилителя) с параболической функцией преобразования. В этом случае нелинейность описывается параболической зависимостью $f(x) = x + bx^2$, что приводит к интегральной нелинейности преобразователя (максимальной погрешности нелинейности), выраженной в степенях квантования, $\Delta_H = bx_m^2 = kq$. Если входной сигнал аналогового усилителя является гармоническим $x(t) = x_m \sin \omega t$, то его выходной сигнал

$$y(t) = x_m \sin \omega t + bx_m^2 \sin^2 \omega t = x_m \sin \omega t + bx_m^2 \frac{1 - \cos 2\omega t}{2}$$

уже имеет нелинейные искажения, где амплитуда первой гармоники равна $a_1 = x_m$, а второй

гармоники $a_2 = b \frac{x_m^2}{2} = \frac{\Delta_H}{2} = \frac{kq}{2}$. В результате дисперсия погрешности преобразования, обусловленная квантованием и нелинейными искажениями, определится из выражения

$\sigma_\Delta^2 = \sigma_q^2 + \frac{a_2^2}{2} = \frac{q^2}{12} + \frac{k^2 q^2}{2} = \frac{q^2(1 + 6k^2)}{12}$, а ее среднее квадратическое отклонение соответственно

будет равным величине $\sigma_\Delta = \frac{q}{2\sqrt{3}} \sqrt{1 + 6k^2}$. Отсюда эффективное число разрядов

$$n_{\text{эф}} = n - \log_2 \frac{\sigma_\Delta}{\sigma_q} = n - \log_2 \sqrt{1 + 6k^2} = n - \frac{1}{2} \log_2(1 + 6k^2).$$

Если интегральная нелинейность определяется степенью квантования $\Delta_H = q$ ($k = 1$), то эффективное число разрядов

$$n_{эф} = n - \frac{1}{2} \log_2 7 = n - 1.404 = 8.594 .$$

При этом отношение сигнал/шум равно

$$\frac{\text{сигнал}}{\text{шум}} (\text{дб}) = 6.02n_{эф} + 1.8 = 6.02 \cdot 8.594 + 1.8 = 53.536 \text{ дб} .$$

Если интегральная нелинейность достигает двух ступеней квантования $\Delta_H = 2q$ ($k = 2$), то эффективное число разрядов

$$n_{эф} = n - \frac{1}{2} \log_2 25 = 10 - 2.322 = 7.678 ,$$

а отношение сигнал/шум составляет

$$\frac{\text{сигнал}}{\text{шум}} (\text{дб}) = 6.02n_{эф} + 1.8 = 6.02 \cdot 7.678 + 1.8 = 48.022 \text{ дб} .$$

У идеального 10-разрядного АЦП при отсутствии нелинейных искажений отношение сигнал/шум имеет значение

$$\frac{\text{сигнал}}{\text{шум}} (\text{дб}) = 6.02 \cdot 10 + 1.8 = 61.82 \text{ дб} .$$

Библиографический список

1. Штрапенин Г.Л. Быстродействующие аналого-цифровые преобразователи фирмы National Semiconductor // Компоненты и Технологии, 2005. № 6. С. 72-76.
2. IEEE Standard for Terminology and Test Methods for Analog-to-Digital Converters / IEEE Std 1241-2010 (Revision of IEEE Std 1241-2000) / IEEE Instrumentation & Measurement Society. New York, 2011. – 139 p.

УДК 621.3.087.45; ГРНТИ 76.13.25

ОДНОВРЕМЕННАЯ РЕГИСТРАЦИЯ ПРОЦЕССОВ ДЫХАНИЯ И СЕРДЦЕБИЕНИЯ, КАК ПОКАЗАТЕЛЬ ЭФФЕКТИВНОСТИ МАГНИТОТЕРАПИИ

С.Г. Гуржин, В.Л. Нгуен

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

Аннотация. Рассматривается метод одновременной регистрации процессов дыхания и сердцебиения пациента во время сеанса магнитотерапии с помощью двух веб-камер, управляемых от компьютера виртуальными приборами в среде LabVIEW, для оценки эффективности лечебной процедуры.

Ключевые слова: процесс дыхания, процесс сердцебиения, сеанс магнитотерапии, веб-камеры, виртуальные приборы, синхронизация магнитотерапевтического воздействия, текущие диагностические показатели пациента, показатели эффективности магнитотерапии.

SIMULTANEOUS REGISTRATION OF THE PROCESSES OF BREATHING AND HEART RATE AS AN INDICATOR OF THE EFFICIENCY OF MAGNETOTHERAPY

S.G. Gurzhin, V.L. Nguyen

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

The summary. A method of simultaneous recording of the patient's breathing and heartbeat processes during a magnetotherapy session using two webcams controlled from a computer by virtual devices in the LabVIEW environment is considered to evaluate the effectiveness of the treatment procedure.

Keywords: breathing process, heartbeat process, magnetic therapy session, webcams, virtual devices, synchronization of magnetic therapy exposure, current diagnostic parameters of the patient, magnetic therapy efficiency indicators.

Среди перспективных направлений развития методов и средств физиотерапии и повышения их эффективности на сегодняшний день выделяют *хронобиологический подход*, т.е. проведение терапевтических воздействий на пациента с учетом временной организации циклических процессов, протекающих в его организме [1-3].

Известно, что нарушения временной координации функций организма свидетельствуют о болезненном состоянии человека и развитии патологических процессов [2].

Доказано, что здоровое состояние человека характеризуется высокой корреляцией между ведущими вегетативными показателями его организма, такими как ритм сердечных сокращений (РСС) и ритм дыхания (РД). Под влиянием ряда внешних стрессорных нагрузок может существенно нарушаться механизм саморегулирования наиболее уязвимых функциональных систем.

Восстановление разбалансированных информационных взаимосвязей функциональных систем возможно с помощью определенных физических воздействий и нелекарственных реабилитационных процедур различной природы [4].

Одной из новых медицинских технологий, позволяющих восстановить согласованное взаимодействие функциональных систем организма является комплексная хрономагнитотерапия [5-7].

На данный момент разработан и проходит испытания модифицированный лечебно-диагностический комплекс хрономагнитотерапии «РелаксМаг» (рис. 1), прототипом которого является широко известный и клинически апробированный комплекс магнитотерапии «МультиМаг».

В перспективе планируется оснастить комплекс «РелаксМаг» веб-камерами, способными обеспечить одновременную регистрацию процессов дыхания и сердцебиения и решить четыре основные задачи:

- оперативный, объективный и дистанционный контроль функционального состояния пациента во время сеанса магнитотерапии;
- выделение биоритмов дыхания и сердцебиения для синхронизации магнитотерапевтического воздействия;
- определение диагностических показателей на основе вариабельности ритмов дыхания и сердцебиения;
- экспресс оценка эффективности каждого сеанса магнитотерапии на основе показателей корреляционной взаимозависимости процессов дыхания и сердцебиения.



Рис. 1. Комплекс хрономагнитотерапии «РелаксМаг»

Разработана измерительно-диагностическая система на базе персонального компьютера (ПК) комплекса «РелаксМаг», формирующего магнитотерапевтическое воздействие, двух одинаковых стандартных, сертифицированных веб-камер (ВК) и оригинального программного обеспечения в среде LabVIEW в виде виртуальных приборов (ВП) для регистрации процессов дыхания и сердцебиения, их обработки, определения диагностических показателей и визуализации результатов в реальном масштабе времени (рис. 2). Общее управление системой осуществляется лечащим врачом с помощью мыши и монитора ПК.

Высокая точность предложенного метода видеорегистрации достигается прежде всего за счет предварительного выбора и обозначения мест на теле пациента, где наиболее выражены (максимальны) колебания участков тела, вызванные процессом дыхания и сердцебиения, с помощью небольших самоклеящихся меток 1 и 2 (этикеток – стикеров).

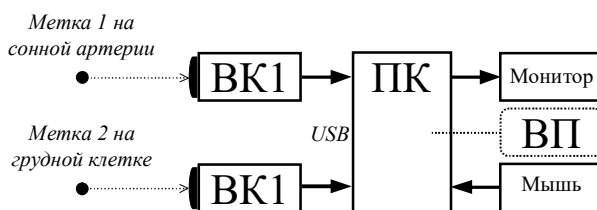


Рис. 2. Структура измерительно-диагностической системы

Место крепления метки, с одной стороны, должно быть доступно для наблюдения веб-камерой в течение всего сеанса магнитотерапии, а с другой стороны, в этом месте должны быть максимально заметны колебания грудной клетки или стенок кровеносных сосудов пациента. Известно, что процесс дыхания человека наиболее выражен в центральной области его грудной клетки, а процесс сердцебиения наиболее выражен в местах, где пульсируют артерии: лучевая артерия на запястье, височная артерия на висках или над бровями и сонная артерия на шее. В проведенных экспериментах метка крепилась у испытуемого в области сонной артерии, на шее с левой стороны от него [8].

Разработанные программные средства системы в виде ВП [9, 10] позволяют одновременно, в реальном масштабе времени, наблюдать врачу исходное изображение пациента с прикрепленными метками 1 и 2, надежно локализовать и выделять изображения в окрестности меток с помощью квадратной рамки зеленого цвета на фоне всего изображения пациента, автоматически производить бинаризацию выделенных изображений меток и дополнительную обработку по снижению уровня различного рода помех, а также формировать осциллограммы непрерывных сигналов дыхания и сердцебиения (рис. 3 и 4).

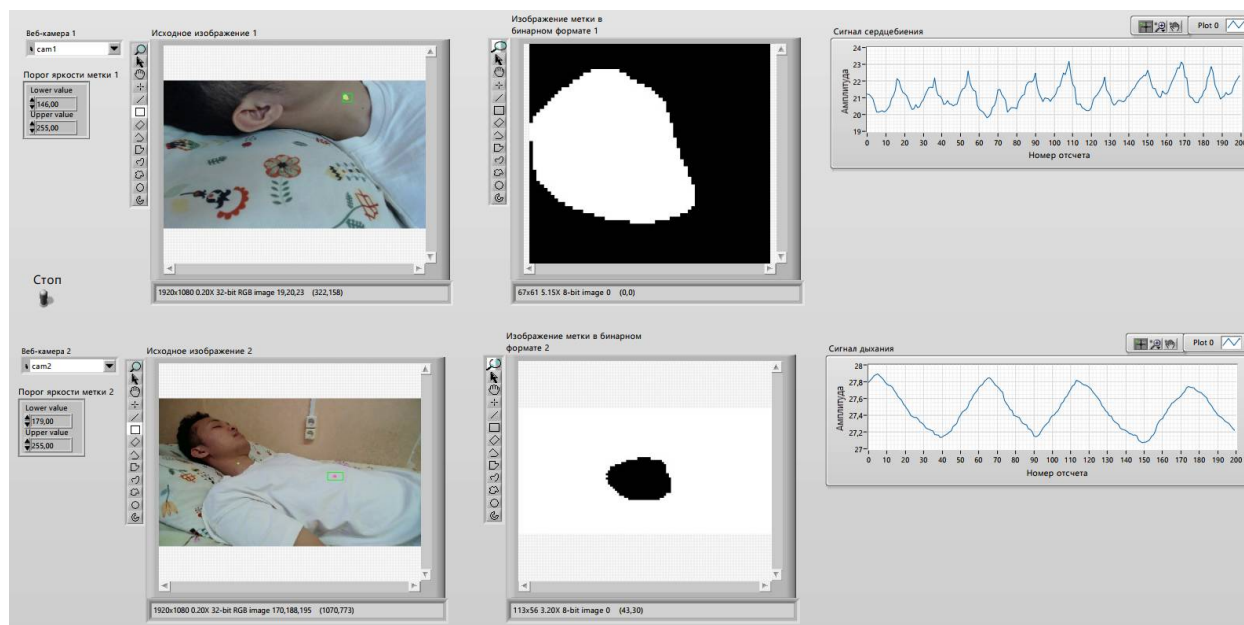


Рис. 3. Пользовательский интерфейс врача хрономагнитотерапии

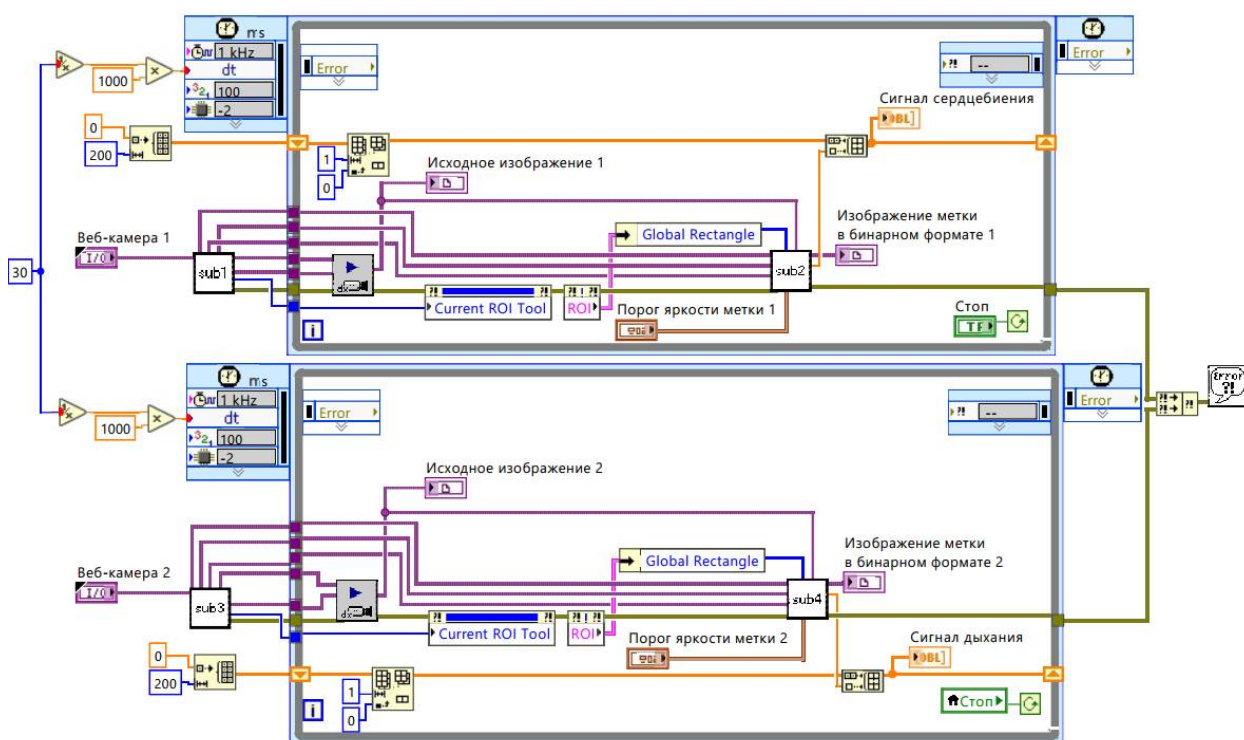





Рис. 4. Блок-диаграмма ВП одновременной регистрации процессов дыхания и сердцебиения



В программе используется два бесконечных цикла, которые параллельно работают в одном виртуальном приборе (ВП). Один цикл для канала регистрации процесса дыхания, а другой для канала регистрации процесса сердцебиения.

Блоки **Веб-камера 1** и **Веб-камера 2** позволяют пользователю выбрать веб-камеру для каждого канала регистрации. Частота кадров веб-камер установлена одинаковой и равной

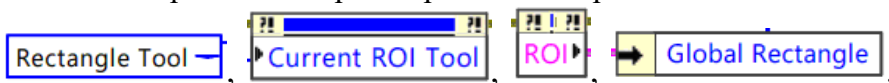
30 Гц.



Подвиртуальные приборы  и  производят непрерывный захват изображения с веб-камер и передачу информации другим программным модулям для последующей обработки в реальном масштабе времени.





Для получения исходного изображения пациента с метками используют функциональные блоки  – IMAQdx Configure Grab и IMAQdx Grab.

Исходное изображение отображается на индикаторах  Исходное изображение 1 для канала сердцебиения и  Исходное изображение 2 для канала дыхания.

Выбор области регистрации в окрестности меток выполняют следующие ВП –





Выделенная ВП видеoinформация поступает на подвиртуальные приборы  и  для преобразования цветного в бинарное изображение, с целью повышения его контрастности и надежного извлечения только элементов меток.

С помощью блоков  Порог яркости метки 1 и  Порог яркости метки 2 врач устанавливает пороговые значения яркостей, по превышению которых происходит распознавание меток на  Изображение метки в бинарном формате изображениях .

Для точного определения местоположения меток вычисляют значения их центров (одного пикселя) в каждом кадре изображения, усредняя сумму множества координат элементов (пикселей) меток, что позволяет уменьшить случайные составляющие погрешности пространственного положения центра метки в \sqrt{n} раз, где n – количество элементов каждой метки [11].

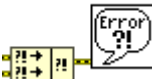
Непрерывно производят фильтрацию полезных компонентов из динамически изменяющихся значений центров меток, которые определяются допустимыми диапазонами частот процессов дыхания и сердцебиения человека, что также снижает влияние мешающих факторов.

Из полученных значений координат центров меток формируют непрерывные последовательности значений (сигналы), соответствующие колебаниям грудной клетки пациента в

процессе дыхания  Сигнал дыхания и колебаниям стенок сонной артерии в процессе сердцебиения  Сигнал сердцебиения.

Отображают результаты всех этапов преобразований видеоданных на экране монитора ПК.

При возникновении ошибок во время работы системы, программа ВП выдает преду-

преждение и останавливает работу с помощью блока .

Сформированные сигналы дыхания и сердцебиения являются для врача ценными источниками объективной информации о текущем функциональном состоянии пациента при

действию на него заданных биотропных параметров магнитного поля. Эти сигналы непосредственно используются для оперативного измерения их амплитудных и частотно-временных параметров, а также для вычисления различных статистических характеристик и диагностических показателей.

Таким образом, разработанная и реализованная система одновременной автоматической регистрации двух жизненно важных процессов дыхания и сердцебиения человека позволяет значительно повысить эффективность магнитотерапии за счет:

- своевременной коррекции врачом методики воздействия, на основании определяемых диагностических показателей, как при проведении каждого сеанса магнитотерапии, так и на протяжении всего курса лечения;
- выделения биоритмов из сигналов дыхания и сердцебиения конкретного пациента и синхронизации ими магнитотерапевтического воздействия;
- возможности экспресс оценки корреляционного отношения двух процессов, служащего объективным индикатором уровня стресса при любом, оказываемом на человека воздействии [12].

Библиографический список

1. Романов Ю.А. Временная организация и информация в биологических системах // Авиакосмическая и экологическая медицина, 1995. Т. 29. №4. С. 4-9.
2. Улащик В.С. Биологические ритмы и хронотерапия // Медицинские новости, 1996. №2. С. 2-8.
3. Комаров Ф.И., Рапопорт СИ. Хронобиология и хрономедицина. – М.: «Триада-Х», 2000. – 488 с.
4. Судаков К.В. Системные механизмы саморегуляции здоровья // Электронное периодическое издание «Вестник Международной академии наук. Русская секция», 2012. №2. С. 13-19.
5. Комплексная хрономагнитотерапия. Методы и средства диагностики и контроля. Монография / под ред. А.Г. Борисова и С.Г. Гуржина. – М.: Радиотехника, 2011. – 200 с.
6. Комплексная хрономагнитотерапия. Методы и средства повышения эффективности. Монография / под ред. А.Г. Борисова и С.Г. Гуржина. – М.: Радиотехника, 2012. – 176 с.
7. Комплексная хрономагнитотерапия. Методы и средства биоадаптации воздействия. Монография / под ред. С.Г. Гуржина и Е.М. Прошина. – М.: Радиотехника, 2015. – 212 с.
8. Гуржин С.Г., Нгуен В.Л. Реализация бесконтактного метода мониторинга процесса дыхания и сердцебиения пациента во время сеанса магнитотерапии // Биомедицинская радиоэлектроника, 2021. Т. 24. № 4. С. 23-32.
9. Свид. 2019617928 Российская Федерация. Свидетельство государственной регистрации программы для ЭВМ. Программа регистрации процесса дыхания пациента с использованием веб-камеры и формирования диагностического сигнала виртуальным прибором в среде LabVIEW / С.Г. Гуржин, В.Л. Нгуен. Оpubл. 25.06.2019, Бюл. № 7.
10. Свид. 2021618777 Российская Федерация. Свидетельство государственной регистрации программы для ЭВМ. Программа непрерывной регистрации процесса сердцебиения пациента с использованием веб-камеры и формирования диагностического сигнала / С.Г. Гуржин, В.Л. Нгуен. Оpubл. 01.06.2021, Бюл. № 6.
11. Патент № 2766046 РФ А61В 5/00. Способ дистанционной регистрации процесса дыхания пациента и устройство для его осуществления / Гуржин С.Г., Нгуен В.Л. Оpubл. 07.02.2022. Бюл. № 4.
12. Патент №2392848 РФ А61В 5/0205. Способ диагностики стресса у человека / М.М. Лапкин, Р.П. Карасев // Открытия. Изобретения. Оpubл. 27.06.2010. Бюл. №18.

УДК 621.3.087.45; ГРНТИ 76.13.25

АНАЛИЗ МЕТОДОВ И СРЕДСТВ ОЦЕНИВАНИЯ ФУНКЦИОНАЛЬНОГО СОСТОЯНИЯ ПАЦИЕНТА В МАГНИТОТЕРАПИИ

А.В. Шуляков

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

Аннотация. Рассматриваются физиологические показатели пациента, а также методы и средства их регистрации для экспресс-оценки функционального состояния пациента в процессе сеанса магнитотерапии.

Ключевые слова: магнитотерапия, функциональное состояние пациента, кардиореспираторная система, ультразвуковой датчик, лазерный позиционно-чувствительный датчик.

ANALYSIS OF METHODS AND MEANS OF DETERMINING THE FUNCTIONAL STATE OF THE PATIENT IN MAGNETIC THERAPY

A.V. Shulyakov

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

The summary. The physiological parameters of the patient, as well as methods and means of their registration for express assessment of the functional state of the patient during a session of magnetic therapy are considered

Keywords: magnetic therapy, functional state of the patient, cardiorespiratory system, ultrasonic sensor, laser position-sensitive detector.

Магнитотерапия, как метод традиционной физиотерапии, в последнее время, получила широкое распространение. Магнитное поле, действующее на живой организм, представляет собой для организма внешний раздражающий фактор, на который организм отвечает адаптационной реакцией, определяемой интенсивностью раздражающего действия магнитного поля, зависящего, в свою очередь, от набора биотропных параметров магнитного поля и индивидуальной восприимчивости организма на воздействие.

Превышение индивидуальной допустимой экспозиции воздействия магнитным полем может стать причиной возникновения стресс реакций организма, может превысить компенсаторные возможности организма и вызвать нарушения функционирования его отдельных систем. Поэтому, в магнитотерапии следует тщательно и индивидуально подбирать технику и методику лечения, вести непрерывный контроль функционального состояния (ФС) организма пациента.

Показатели ФС отражают определенную совокупность активности и правильность работы различных физиологических систем, определяют уровень функционального резерва организма, обеспечивающего его адаптационные возможности. Определение и контроль основных жизненно важных показателей ФС организма пациента проводится с помощью систем клинического мониторинга.

Регистрируемые показатели используются в магнитотерапии, также, в контуре биотехнической обратной связи, и, в частности, для целей хроносинхронизации параметров магнитного воздействия с биоритмами пациента.

Многие исследователи отмечают, что ФС пациента, отражающее адаптацию организма к внешним воздействиям, главным образом определяется показателями работы его кардиореспираторной системы, т.е. согласованным взаимодействием сердечно-сосудистой и дыхательной систем [1, 2]. Поэтому, становится актуальной задача регистрации и контроля параметров процессов сердцебиения и дыхания пациента.

Для контроля состояния сердечно-сосудистой системы в течение сеанса магнитотерапии выбираются и определяются показатели ритма сердца, скорости распространения пульсовой волны и артериального давления пациента. Для оценки состояния дыхательной системы выбираются и определяются показатели ритма дыхания и сатурация крови кислородом.

Данный набор показателей позволяет получить основную информацию о состоянии кардиореспираторной системы пациента, а также, может быть использован для реализации биоадаптивного воздействия.

Работу сердечной сосудистой системы можно, в значительной степени, оценивать по параметрам, определяемым при регистрации ритма сердца. Проводя непрерывную регистрацию моментов удара сердца и измеряя по ним длительности кардиоинтервалов можно определять текущую частоту сердечных сокращений (ЧСС), а также целый ряд показателей степени напряжения регуляторных систем, отражающих баланс симпатического и парасимпатического отделов вегетативной нервной системы организма [2].

При регистрации ритма сердца, также, необходимо выделять характеристические моменты времени, например, моменты, соответствующие состоянию систолы сердечной сосудистой системы для осуществления синхронизации воздействия в рамках хроносогласования магнитотерапевтического воздействия.

В данной работе для определения показателей ритма сердца выбран метод фотоплетизмографии, предполагающий регистрацию пульсовой волны, с последующим выделением моментов систолы и определения длительностей кардиоинтервалов для оценки необходимых показателей. Данный метод реализуется с помощью датчика пульсоксиметра, который кроме возможности оценки показателей ритма сердца позволяет определять сатурацию крови кислородом.

При использовании двух фотометрических датчиков, располагаемых на проксимальном и дистальном участках тела пациента, появляется возможность определять скорость распространения пульсовой волны, которая, в свою очередь, связана с артериальным давлением пациента [3].

Для регистрации показателей ритма дыхания выбран бесконтактный локационный метод, для реализации которого предлагаются два типа датчиков, рассмотренных в [4, 5]: ультразвуковой и лазерный.

Ультразвуковой датчик расстояния представлен дальномером эхолокации – модулем HC-SR04, состоящим из ультразвукового излучателя, приемника и микросхем управления [6]. Лазерный датчик расстояния представляет собой оптический интегральный модуль GP2Y0A21YK0F компании Sharp – позиционно-чувствительный датчик (Position-Sensitive Detector, PSD) или инфракрасный дальномер, принцип действия которого основан на триангуляционном методе измерений [7].

Были проведены экспериментальные исследования по регистрации сигнала дыхания грудной клетки пациента каждым из предложенных датчиков [9]. Для объективного анализа процессов сердцебиения и дыхания в реальном масштабе времени построена система, аппаратной платформой которой является персональный компьютер (ПК), а программные средства, созданные в среде LabVIEW, представляют широкие возможности по регистрации, обработке, преобразованию, формированию биомедицинских сигналов, измерению их параметров, расчету диагностических показателей и визуализации результатов.

При использовании ультразвукового датчика был зарегистрирован сигнал дыхания, фрагмент которого представлен на рисунке 1.

Выходной сигнал ультразвукового датчика характеризует изменение расстояния от датчика до грудной клетки в процессе дыхания пациента. Значения сигнала – это временной интервал между моментом отправки зондирующего ультразвукового сигнала и приемом отраженного от грудной клетки эхо-сигнала. Диапазон изменения значений сигнала по оси ординат на рис. 1 соответствует перемещению грудной клетки на расстояние около 20 мм. Высокочастотные колебания сигнала на рисунке представляют собой грубые погрешности, величина которых, соответствует периоду зондирующих ультразвуковых импульсов (25 мкс при частоте зондирующих импульсов 40 кГц). Причина их появления заключается в пропус-

ке приемником ультразвука первого периода отраженной посылки импульсов и срабатывания на второй или последующие периоды [5].

Сигнал с ультразвукового датчика

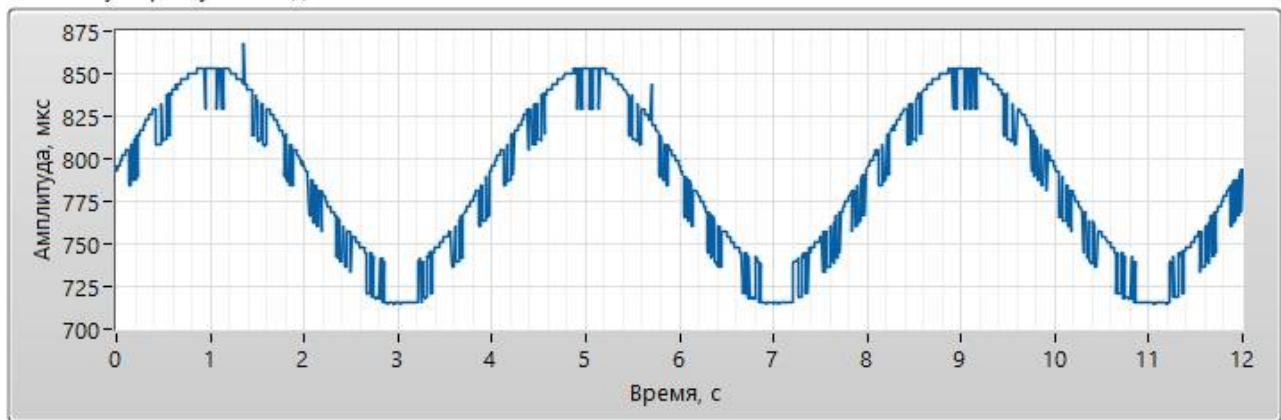


Рис. 1. Зарегистрированный сигнал ультразвукового датчика

Для исключения таких грубых погрешностей разработан алгоритм [5], суть которого заключается в следующем: учитывая, что перемещение грудной клетки имеет плавный характер, то в зарегистрированном сигнале с ультразвукового датчика не должно быть резких скачков. Поэтому если отличие значения текущего зарегистрированного отсчета сигнала от значения предыдущего отсчета лежит в диапазоне 25 ± 5 мкс, то данная разница компенсируется на 25 мкс. То есть к значению текущего отсчета прибавляется (или вычитается) 25 мкс, если разница отсчетов лежит в диапазоне 50 ± 5 мкс, то данная разница компенсируется на 50 мкс. Фрагмент сигнала дыхания с ультразвукового датчика после использования алгоритма для исключения грубых погрешностей и преобразования оси ординат в единицы расстояния до грудной клетки пациента представлен на рисунке 2.

Обработанный сигнал с ультразвукового датчика

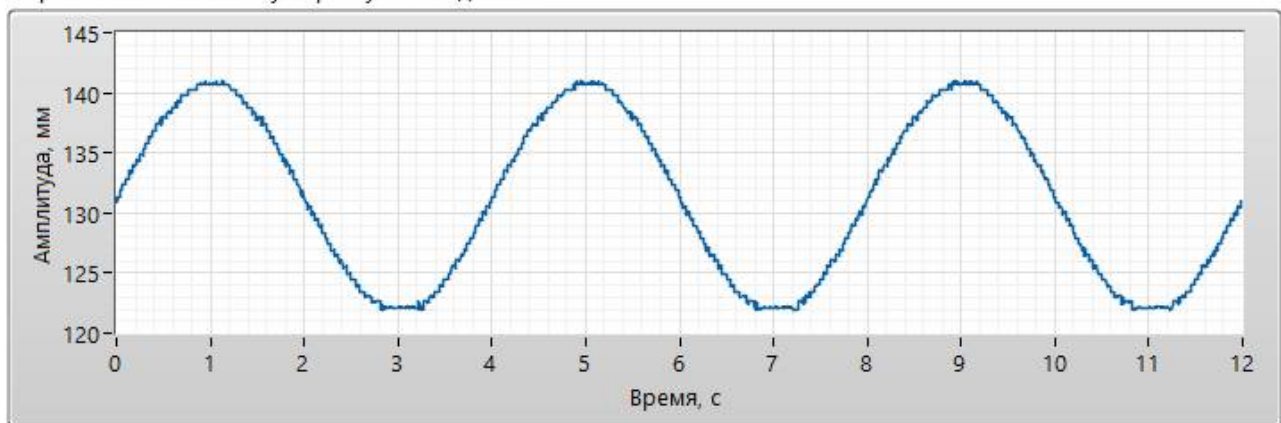


Рис. 2. Обработанный сигнал ультразвукового датчика

Таким образом, если частота зондирующих импульсов 40 кГц, то абсолютная погрешность в один период эхо-сигнала, в пересчете на измеряемое расстояние, будет равна 4,125 мм (при скорости ультразвука в воздухе 330 м/с). Это является ощутимой величиной, учитывая небольшой диапазон перемещения грудной клетки. Для исключения подобных грубых погрешностей в исходном сигнале с датчика необходимо рассмотреть варианты ультразвуковых датчиков с более высокой частотой зондирующих импульсов.

При использовании лазерного датчика был получен сигнал перемещения грудной клетки, представленный на рисунке 3.

Сигнал с оптического датчика

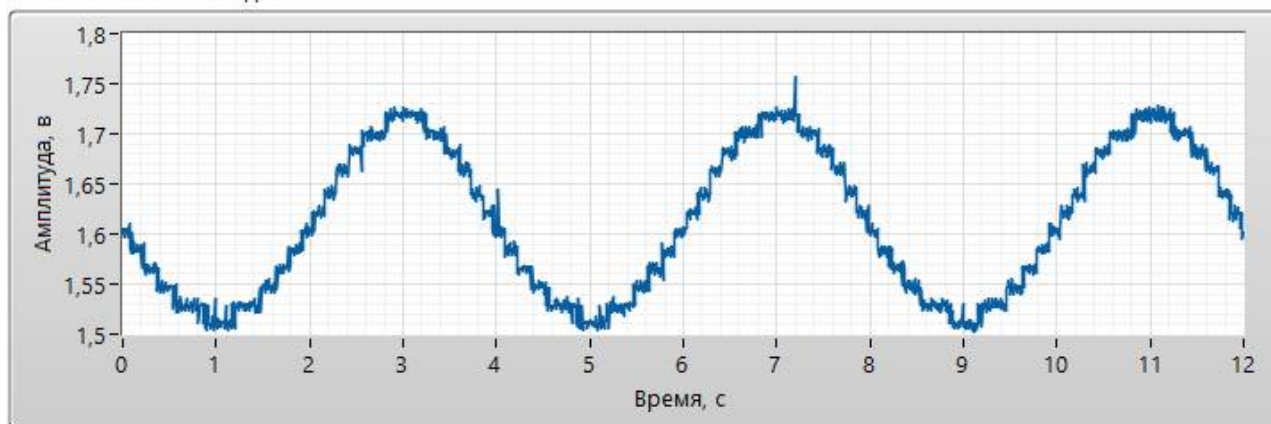


Рис. 3. Зарегистрированный сигнал лазерного датчика

Выходным сигналом лазерного датчика является электрическое напряжение, амплитуда которого связана с расстоянием до объекта обратной нелинейной зависимостью, которая приводится в спецификации на датчик [7]. Для перевода единиц напряжения (В) в единицы расстояния до экрана (мм), функция преобразования датчика была аппроксимирована кусочно-линейной функцией.

- Ступенчатый характер зарегистрированного сигнала с лазерного датчика определяется его принципом работы, при котором отраженный от грудной клетки луч направляется через линзу на позиционно-чувствительный фотоэлемент (Position-Sensitive Detector, PSD), который представляет собой линейку дискретных фоточувствительных элементов. Поэтому датчик может выдавать только дискретные значения напряжения на выходе. Присутствующий в сигнале высокочастотный шум определяется, главным образом, электрическими наводками на датчик и провода, идущие от него.

Цифровая обработка зарегистрированного сигнала лазерного датчика предполагает низкочастотную фильтрацию. Использование ФНЧ для выделения сигнала дыхательных колебаний приводит к появлению фазового сдвига сигнала на выходе фильтра. Поскольку сигнал дыхания используется для синхронизации магнитотерапевтического воздействия, которое необходимо согласовать во времени с началом фазы вдоха или выдоха, то задержка сигнала при обработке должна быть минимальной [8].

На рисунке 4 показан сигнал лазерного датчика после низкочастотной фильтрации и преобразования его в единицы расстояния.

Недостатками используемого лазерного датчика являются низкая крутизна его функции преобразования, а также ступенчатый характер изменения амплитуды выходного сигнала, что сказывается при малых перемещениях грудной клетки в процессе дыхания. Рассматриваются варианты схожих решений с большей разрешающей способностью измерения расстояния и при, возможно, меньшем диапазоне измерения.

Обработанный сигнал с оптического датчика

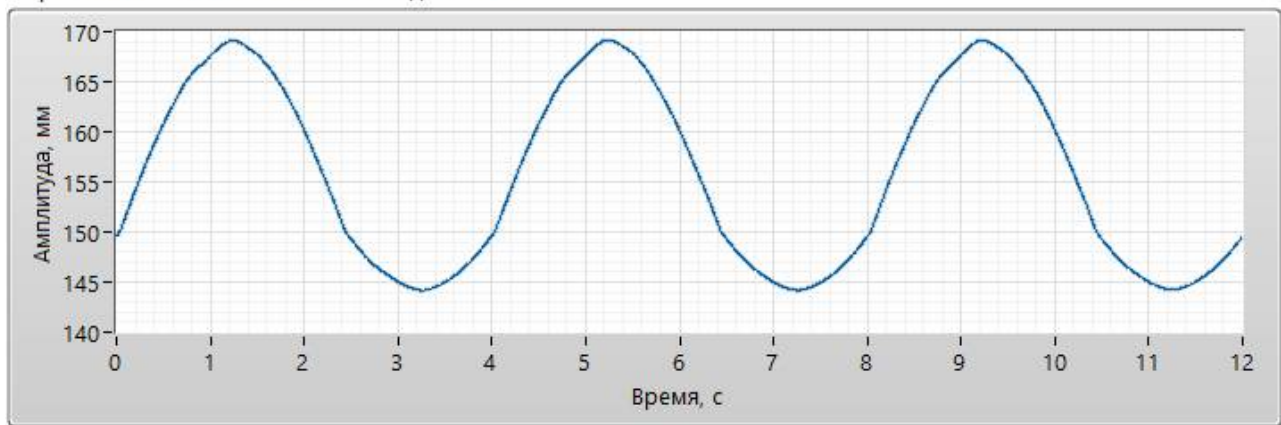


Рис. 4. Обработанный сигнал лазерного датчика

Дальнейшая обработка сигнала дыхания [5], предполагает выделение моментов начала фаз вдоха и выдоха для целей синхронизации магнитотерапевтического воздействия, определение длительностей этих фаз и построение ритмограммы дыхания.

При регистрации процесса дыхания локационными методами, отражение зондирующего сигнала происходит от одежды пациента, закрывающую его грудную клетку, в результате, в сигнале присутствует множество артефактов, связанных с изменением отражающих свойств поверхности – появление складок на одежде в зоне грудной клетки пациента, случайные наклоны отражающей поверхности, незначительные движения пациента, что сильно усложняет выделение информативных параметров и характеристик в зарегистрированном сигнале. Поэтому необходим поиск новых решений, которые обеспечивали бы более высокую разрешающую способность, точность и низкий уровень шума регистрируемого процесса дыхания.

Библиографический список

1. Улащик В.С., Плетнев А.С., Войченко Н.В., Плетнев С.В. Магнитотерапия: теоретические основы и практическое применение. – Минск: Беларуская навука, 2015. – 379 с.
2. Баевский Р.М., Берсенева А.П. Оценка адаптационных возможностей организма и риск развития заболеваний. – М., Медицина, 1997, – 236 с.
3. Анисимов А.А. Метод и система длительного мониторинга артериального давления и тревожной синхронизации гипертонического криза. Дисс. канд. тех. наук. – СПб., 2017. – 152 с.
4. Гуржин С.Г., Нгуен В.Л., Шуляков А.В. Исследование действительной функции преобразования бесконтактных датчиков перемещения // Современные технологии в науке и образовании – СТНО-2021: сб. тр. IV междунар. науч.-техн. форума: в 10 т. Т.6. / под общ. ред. О.В. Миловзорова. – Рязань: РГРТУ, 2021. С. 209-213.
5. Гуржин С.Г., Нгуен В.Л., Шуляков А.В. Компьютерная система метрологических испытаний локационных датчиков, используемых для мониторинга состояния пациента в магнитотерапии // Биомедицинская радиоэлектроника, 2021, Т. 24, № 4, С. 6-16.
6. Техническая спецификация на ультразвуковой дальномер HC-SR04. – 10 с. URL: <https://web.eece.maine.edu/~zhu/book/lab/HC-SR04%20User%20Manual.pdf> (дата обращения: 20.04.2022).
7. Техническая спецификация на лазерный дальномер GP2Y0A21YK0F компании SHARP. – 9 с. URL: https://global.sharp/products/device/lineup/data/pdf/datasheet/gp2y0a21yk_e.pdf (дата обращения: 21.04.2022).
8. Жаров М.В., Шуляков А.В. Цифровая обработка сигнала при определении параметров ритма дыхания в хрономангнитотерапии // Биомедицинская радиоэлектроника, 2008. № 7. С. 61-65.
9. Григорьев Е.М., Гуржин С.Г., Жулев В.И., Каплан М.Б., Кряков В.Г., Прошин Е.М., Путилин Е.О., Шуляков А.В. Регистрация, преобразование и обработка биоэлектрических сигналов канала биотехнической обратной связи комплекса «Мультимаг» // Биомедицинская радиоэлектроника, 2015, №5, С. 4-12.

УДК 615.847.8; ГРНТИ 76.13.25

СПОСОБ ОРГАНИЗАЦИИ И ПРОВЕДЕНИЯ ГРУППОВОЙ МАГНИТОТЕРАПИИ ПУТЕМ РЕКОНФИГУРАЦИИ ПОЛЕФОРМИРУЮЩИХ СИСТЕМ

С.Г. Гуржин, В.И. Жулев, М.Б. Каплан

*Рязанский государственный радиотехнический университет имени В.Ф. Уткина,
Российская Федерация, Рязань, mik_kap2001@mail.ru*

Аннотация. Рассматриваются способ и аппаратно-программные средства, позволяющие одновременно осуществлять воздействие магнитным полем на нескольких пациентов, при этом для каждого пациента формируется индивидуальный набор биотропных параметров и конфигурация магнитного поля. Применение предложенного способа существенно повысит пропускную способность физиотерапевтических кабинетов и даст возможность задавать воздействие как общее, на весь организм, так и локальное, на отдельные органы или участки тела.

Ключевые слова: интеллектуальная магнитотерапевтическая ячейка, реконфигурация полеформирующих систем, пространственно-временная конфигурация, магнитное поле, биотропные параметры, групповой адрес, интерфейс связи.

METHOD FOR ORGANIZING AND CARRYING OUT GROUP MAGNETOTHERAPY BY RECONFIGURATION OF FIELD-SHAPING SYSTEMS

S.G. Gurzhin, V.I. Zhulev, M.B. Kaplan

*Ryazan State Radio Engineering University named after V.F. Utkin,
Russia, Ryazan, mik_kap2001@mail.ru*

The summary. A method and hardware and software tools are considered that allow simultaneous exposure to a magnetic field on several patients, while for each patient an individual set of biotropic parameters and a magnetic field configuration are formed. The application of the proposed method will significantly increase the throughput of physiotherapy rooms and will make it possible to set the effect both general, on the entire body, and local, on individual organs or parts of the body.

Keywords: intellectual magnetotherapy cell, reconfiguration of field-forming systems, space-time configuration, magnetic field, biotropic parameters, group address, communication interface.

В настоящее время не вызывает сомнений эффективность использования магнитотерапии при лечении различного рода заболеваний. Основным стремлением, определяющим вектор развития магнитотерапевтической техники, является поиск и формирование пространственно-временных распределений магнитного поля, оказывающих лечебное воздействие. Кроме того, многообразие заболеваний, а также требования учета индивидуальных особенностей конкретного пациента, заставляет в обязательном порядке формировать специализированные и адаптированные конфигурации магнитного поля. Немаловажным также является экономический фактор эксплуатации медицинского оборудования, а именно требование повышения производительности и коэффициента использования аппаратуры. В связи с чем предлагается подход организации проведения одновременного лечения нескольких пациентов с помощью магнитного поля.

Способ определяет последовательность шагов по одновременному воздействию магнитным полем на группу людей и формирования индивидуальной конфигурации этого поля (пространственно-временного распределения) для каждого пациента. Естественно, что формирование магнитотерапевтического воздействия предполагает создание магнитного поля, обладающего определенным набором и значениями биотропных параметров [1]. На аппаратном уровне требуется наличие интеллектуальных магнитоизлучающих элементов, обладающих возможностью совместного формирования магнитного поля с заданными характеристиками. Причем построение полеформирующей системы предполагает возможность реконфи-

гурации, то есть изменения как количества излучающих элементов, так и их пространственного положения.

В качестве варианта реализации предлагаемого способа рассмотрим частный случай устройства, состоящего из 30 магнитотерапевтических ячеек (МТЯ) и центрального модуля. Практическая реализация предполагает использование программ, применяемых в аппаратах комплексной магнитотерапии «Мультимаг» (рис. 1). Фактически рассматриваемый способ предполагается использовать как основу для развития устройств серии «Мультимаг». В списке методик на рисунке 1 представлены названия реальных клинически апробированных программ, определяющих пространственно-временное распределение магнитного поля для соответствующего вида заболеваний. Общий список файлов данных комплекса «Мультимаг» превышает 40 методик [2, 3].

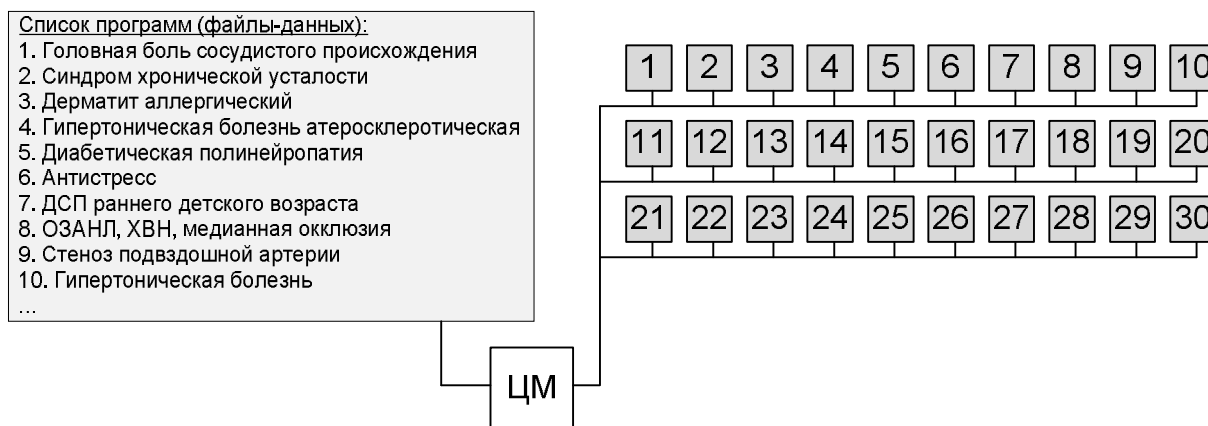


Рис. 1. Вариант (частный случай) структуры устройства

Центральный модуль состоит из терминала ввода-вывода, центрального блока управления и интерфейсного блока. В свою очередь МТЯ состоят из локального блока управления, локального интерфейсного модуля, блока памяти, блока идентификации, силового блока сопряжения, блока индукторов и блока контроля.

Реализация способа заключается в выполнении следующей последовательности действий.

1. Для каждого пациента из совокупности однотипных МТЯ строят полеформирующую систему. Количество и месторасположение МТЯ для каждого пациента определяют индивидуально в зависимости от распределения магнитного поля и требуемого характера воздействия – лечение, профилактика или реабилитация. При этом все МТЯ и центральный блок управления объединяют в единую информационную сеть посредством использования локальных интерфейсных модулей и интерфейсного модуля центрального блока управления.

2. В центральном блоке управления формируют единый файл, который содержит данные, определяющие закон изменения управляющих сигналов в течение магнитотерапевтического сеанса для индукторов каждой МТЯ. Данные в файле посредством терминала ввода-вывода корректируют с учетом выбранного месторасположения МТЯ и требуемого характера воздействия для каждого пациента. Настройка предполагает формирование списков идентификационных номеров МТЯ, используемых для терапии в рамках лечения конкретного пациента, при этом для МТЯ назначают групповой адрес, использование которого позволяет реализовать одновременный запуск ячеек, обладающих этим групповым адресом.

3. Записывают в память МТЯ содержимое файла путем передачи данных из центрального блока управления в локальные блоки управления, с последующим сохранением данных в память МТЯ. В результате выполнения указанного этапа в памяти отдельной МТЯ содер-

жаться сведения необходимые для проведения процедуры магнитотерапии для конкретного пациента. Кроме того, в памяти МТЯ фиксируют групповой адрес.

4. Активируют процедуру магнитотерапии с помощью команды старта, с указанием группового адреса. Команду старт генерируют через терминал ввода-вывода, в результате чего центральный блок управления формирует кодовую последовательность, которая локальными блоками управления МТЯ воспринимается в качестве команды запуска.

5. После запуска каждой МТЯ независимо формируют магнитное воздействие. Функционирование МТЯ выполняется в следующем порядке:

- локальный блок управления последовательно считывает информацию из памяти об очередном значении управляющего сигнала для блока индукторов МТЯ;
- посредством силового блока сопряжения создает управляющие сигналы для блока индукторов;
- посредством опроса состояния блока контроля определяет количественные показатели формируемого магнитного поля;
- в случае выявления несоответствий производит коррекцию управляющих сигналов, а в критическом случае останавливает выполнение процедуры магнитотерапии.

6. Центральный блок управления проводит периодический опрос состояния каждой МТЯ с целью выявления текущего статуса МТЯ. Статус показывает время, оставшееся до окончания автономной работы ячейки при реализации текущей процедуры магнитотерапии, а также наличие или отсутствие ошибок при формировании магнитного поля.

Частный случай групповой магнитотерапии для трех пациентов представлен на рисунке 2, а, где пациенту № 1 назначено лечение по программе № 3, пациенту № 2 – лечение по программе № 8, пациенту № 3 – лечение по программе № 10.

Для проведения магнитотерапии согласно предлагаемому способу, сначала следует сформировать полеформирующую систему для каждого пациента, то есть выбрать количество и месторасположение МТЯ. Указанное действие выполняется с учетом известного пространственно-временного распределения задаваемое через файл данных. При этом следует обратить внимание, что все МТЯ однотипные, поэтому ячейка, например, под идентификационным номером 11, входящей в состав полеформирующей системы организованной для лечения пациента № 3, может быть заменена на любую другую.

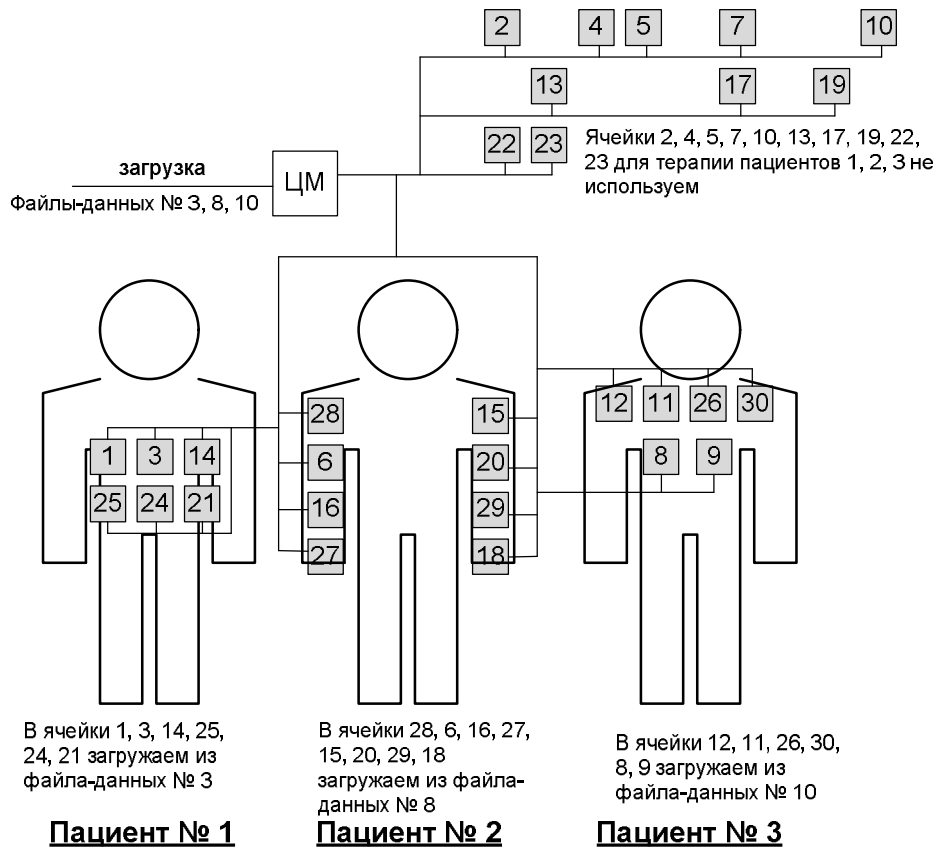
Следующим действием является формирование единого файла данных. Задачей этого этапа является установление соответствия исходных данных из файлов-данных и получателей этих данных, а именно МТЯ. Так сведения из файла данных № 8 (согласно рис. 2, а) должны быть направлены в ячейки 28, 6, 16, 27, 15, 20, 29, 18. Еще следует обратить внимание, что не все МТЯ могут быть задействованы в текущем сеансе магнитотерапии, поэтому запись данных для них не производится, а групповой адрес не присваивается.

Еще один пример групповой магнитотерапии представлен на рисунке 2,б, когда два разных пациента могут подвергаться одинаковому лечению (пациент № 5 и № 7). Для их лечения используется одна и та же программа, количество МТЯ и местоположение МТЯ также совпадают, однако для организации лечения пациента № 5 используются МТЯ № 2, 3, 25, 26, 28, 5, 29, а для лечения пациента № 7 – МТЯ № 17, 20, 24, 19, 23, 15, 4. Для пациента № 4 проводится лечение по той же программе, что и для пациента № 2 (рис. 2,а), но полеформирующая система для пациента № 2 состоит из МТЯ № 28, 6, 16, 27, 15, 20, 29, 18, а для пациента № 4 из МТЯ № 7, 12, 16, 30, 27, 11, 22, 21.

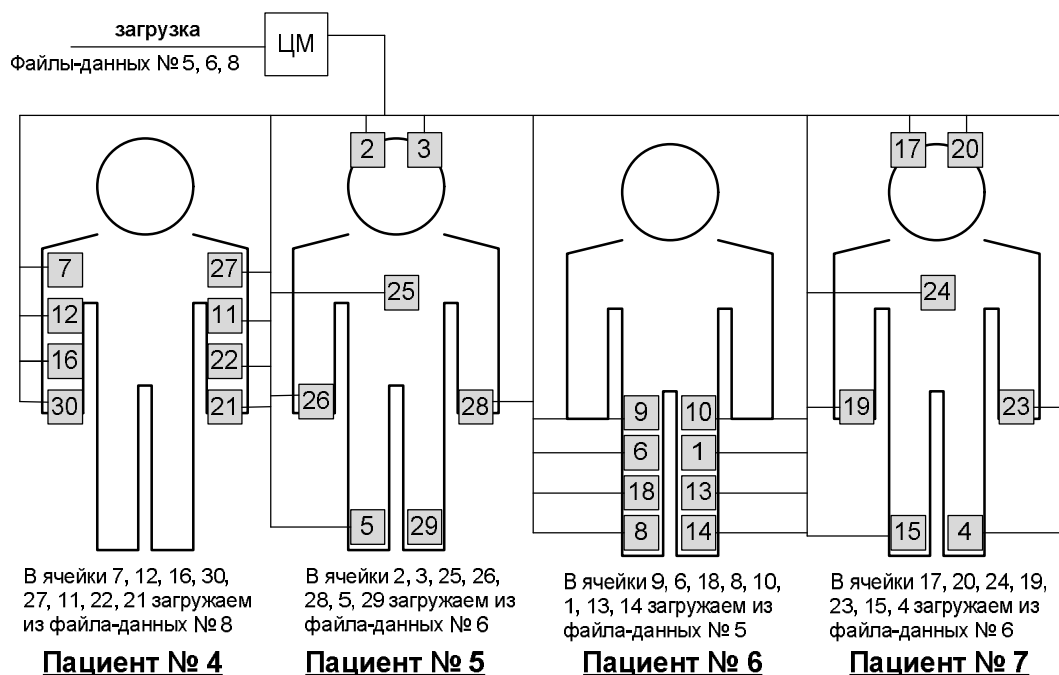
Как видно в первом и втором варианте (рис. 2) в МТЯ № 16 и 27 должна быть загружена информация из файла данных № 8, однако местоположение МТЯ № 27 при лечении пациента № 2 отличается местоположением этой же МТЯ в случае лечения пациента № 4.

Следовательно, для формирования одинаковых полей для пациентов № 2 и № 4, в МТЯ № 27 должны быть загружены данные с учетом местоположения МТЯ.

Таким образом, разработан способ для групповой магнитотерапии, позволяющий проводить одновременный сеанс воздействия магнитным полем на группу пациентов, формируя сложнораспределенное поле, генерируемое с учетом индивидуальных особенностей каждого пациента. Сама возможность достигается путем пространственного разнесения МТЯ относительно пациентов, в результате чего магнитное поле, создаваемое отдельной МТЯ, оказывает воздействие только на одного конкретного пациента. Дополнительным преимуществом реализации является режим автономной работы и контроля каждой МТЯ, в соответствии с заложенной программой.



а



б

Рис. 2. Варианты построения полеформирующих систем для проведения групповой магнитотерапии:
а – терапия пациентов № 1, 2, 3; б – терапия пациентов № 4, 5, 6, 7

Реконфигурируемость полеформирующей системы, использование однотипных интеллектуальных МТЯ, применение единого центрального модуля управления обеспечивают построение высокопроизводительного магнитотерапевтического устройства, использование которого даст возможность повышения пропускной способности физиотерапевтических кабинетов.

Библиографический список

1. Влияние магнитных полей на биологические объекты: Сборник статей / Отв. ред. д-р биол. наук Ю.А. Холодов. – М.: Наука, 1971. – 214 с.
2. Ступаков Г.П., Симоненко В.Б., Пономаренко Г.Н., Щербинина Н.В. Лечебно-профилактическое применение хрономангнитотерапевтического комплекса «Мультимаг»: Медицинская технология. ФС №2011/406. – М.: 2012. – 18 с.
3. Пономаренко Г.Н. Сложномодульная низкочастотная магнитотерапия с применением аппаратно-программного комплекса «Мультимаг»: Методические рекомендации. – СПб.: 2014 – 28 с.

СОДЕРЖАНИЕ

ИНФОРМАЦИЯ О V МЕЖДУНАРОДНОМ ФОРУМЕ «СОВРЕМЕННЫЕ ТЕХНОЛОГИИ В НАУКЕ И ОБРАЗОВАНИИ» СТНО-2022».....	3
МЕЖДУНАРОДНАЯ НАУЧНО-ТЕХНИЧЕСКАЯ КОНФЕРЕНЦИЯ «СОВРЕМЕННЫЕ ТЕХНОЛОГИИ В НАУКЕ И ОБРАЗОВАНИИ. ВЫЧИСЛИТЕЛЬНАЯ ТЕХНИКА И АВТОМАТИЗИРОВАННЫЕ СИСТЕМЫ».....	5
Секция «ГЕОИНФОРМАЦИОННЫЕ И КОСМИЧЕСКИЕ ТЕХНОЛОГИИ».....	5
Еремеев В.А., Москвитин А.Э., Ушенкин В.А. Комплексирование изображений, полученных при съемке Земли в видимом и радиолокационном диапазонах спектра.....	5
Таганов А.И., Цыцына М.И., Фоломеев А.А. Показатели функциональной надежности информационных процессов системы виртуальной реальности.....	10
Васильев Е.П., Садовская И.В. Электродинамические и квазистатические методы моделирования волноведущих структур.....	17
Линьков В.А., Линькова С.Ю. Проектирование малоразмерных поисковых астрофизических зондов для сбора и анализа внеземных нанообъектов в окрестностях точек либрации планет, входящих в солнечную систему.....	22
Ушенкин В.А., Соловьев А.В. Использование поляриметрических признаков в задаче обнаружения лесного покрова на космических радиолокационных изображениях.....	28
Куликов Н.В. Анализ основных классификаций программного обеспечения для дополнения модели СОСОМО.....	33
Васильев Е.П., Нгуен Данг Хоп Моделирование микрополосковой антенны с высокой направленностью для применения в X-диапазоне.....	37
Васильев Е.П., Лыу Тхань Дат Анализ конструктивных типов фильтров на связанных линиях.....	44
Таганов А.И., Кокунов А.А., Цыцына М.И. Модели и методы оценки качества и надежности алгоритмических процессов информационных систем.....	49
Васильев Е.П., Климчук Н.В., Чирковская Е.А. Технология EM-моделирования в среде SONNET LITE.....	55
Ларионов С.М. Исследование внутренних мер оценки качества в задаче классификации гиперспектральных данных без учителя.....	59
Назарцев В.В. Адаптивный алгоритм сжатия гиперспектральных данных.....	64
Поборуева М.С., Бодров О.А.	

Особенности и отличия методов разделения каналов FDMA, TDMA и CDMA.....	67
Поборуева М.С., Бодров О.А. Применение алгоритмов морфологических операций для обработки изображения.....	72
при передаче данных со спутниковых систем	
Ермичёв А.О., Чесноков Р.А. Модернизация кольцевой камеры электрического ракетного двигателя на эффекте Холла.....	75
Кочетков А.В., Чесноков Р.А. Использование сверхгидрофобных покрытий в борьбе с обледенением летательных аппаратов.....	80
Кузнецов Л.Л. Исследование видов манипуляции, используемых в системах дистанционного наблюдения Земли.....	86
Парчевская А.М. Совмещение спутниковых изображений с использованием генетического алгоритма.....	91
Секция «АВТОМАТИЗАЦИЯ ПРОИЗВОДСТВЕННО-ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ ПРОЦЕССОВ В ПРИБОРО- И МАШИНОСТРОЕНИИ».....	95
Романов И.Н., Ленков М.В. Исследование системы асинхронный двигатель-генератор постоянного тока на одном валу.....	95
Дятлов Р.Н., Буханова Е.К. Моделирование термомеханических процессов на электродах при электроэрозионной обработке.....	103
Ленков М.В., Фролова И.А. Определение технологических режимов обработки элементов корпуса силового трансформатора на оборудовании с ЧПУ.....	106
Пруцков А.В. Измерение реального потребления электроэнергии бытовым холодильным прибором.....	110
Нестеров А.В. Учебный стенд на основе преобразователя частоты для моделирования подъемно-транспортных процессов.....	112
Семашко Е.А., Осипова Ю.А. Искусственный интеллект в системе управления автомобильным транспортом.....	118
Гуров Ю.А., Сосулин Ю.А. Многофакторное моделирование финансовой деятельности предприятия.....	121
Немтинов В.А., Парсков В.А. Информационная поддержка принятия решений при проведении технологической наладки и обслуживании вертикально - фрезерных обрабатывающих центров.....	124

Смирнова С.А. Децентрализованное комбинированное управление многосвязным структурно неопределенным объектом с переключениями.....	130
Смирнова С.А. Разработка комбинированной системы управления нестационарным многорежимным объектом по выходу в схеме с неявным эталоном.....	139
Фадеев Р.Н., Огурцова Е.Ю. Интеллектуальная система анализа технологических данных.....	146
Власенко В.Ю. Изучение принципа испытаний образцов изделий на воздействие тепла и холода.....	151
Макарова А.О. Автоматизация контроля качества при производстве молочной продукции.....	155
Миловзоров О.В., Грибов Н.В., Шитова С.М. К вопросу создания мини-САПР формирования 3D-моделей машиностроительных деталей для дальнейшей интеграции с CAPP- и САМ-системами.....	158
Миловзоров О.В., Грибов Н.В., Шитова С.М. Мини-САПР формирования 3-D моделей деталей типа "тело вращения" на основе системы T-Flex CAD 3D.....	164
Беев А.П., Меркулов Ю.А. Автоматизация процесса генерации и оценки сценариев развития городской транспортной системы на основе критерия эффективности.....	168
Меркулов Ю.А. Разработка структурно-функциональной модели городской транспортной системы.....	172
Меркулов Ю.А. Разработка модели эффективности городской транспортной системы.....	176
Секция «ИНФОРМАЦИОННО-ИЗМЕРИТЕЛЬНЫЕ УСТРОЙСТВА И СИСТЕМЫ В ТЕХНИКЕ И МЕДИЦИНЕ. СТАНДАРТИЗАЦИЯ И УПРАВЛЕНИЕ КАЧЕСТВОМ».....	180
Котяева А.Д., Губарев А.В. Управление рисками в организации.....	180
Гуржин С.Г. Структурирование и композиции биотропных параметров лечебных магнитных полей в комплексе хрономагнитотерапии и реабилитации «РЕЛАКСМАГ»	184
Гуржин С.Г., Шуляков А.В. Определение параметров кардио-респираторного синхронизма пациента в комплексной магнитотерапии.....	189
Будылина П.С. Цифровое устройство функциональной диагностики мышц рук.....	194
Габдрахманова А.Р., Тюрина М.М. Применение магнитодинамического метода для выявления тромбообразования в постковидный период.....	198
Андреев Н.В., Чернов Е.И.	

Конструктивные особенности анализаторов цвета диффузно-рассеивающих свет объектов.....	202
Азаров Д.А., Чернов Е.И. Цифровая система мониторинга электромагнитного загрязнения.....	205
Дмитревский И.Д. Прибор для регистрации слуховых вызванных потенциалов с каналом формирования звукового стимула.....	208
Ашапкина М.С., Алпатов А.В. Чат-бот для поддержки физической реабилитации коленного сустава.....	212
Абрамов А.М. Метод определения мгновенных динамических погрешностей АЦП.....	216
Абрамов А.М. Анализ эффективного числа разрядов АЦП.....	219
Гуржин С.Г., Нгуен В.Л. Одновременная регистрация процессов дыхания и сердцебиения, как показатель эффективности магнитотерапии.....	222
Шуляков А.В. Анализ методов и средств оценивания функционального состояния пациента в магнитотерапии.....	228
Гуржин С.Г., Жулев В.И., Каплан М.Б. Способ организации и проведения групповой магнитотерапии путем реконфигурации полеформирующих систем.....	233

СОВРЕМЕННЫЕ ТЕХНОЛОГИИ В НАУКЕ И ОБРАЗОВАНИИ

Научное издание

В 10 томах

Том 6

Под общей редакцией О.В. Миловзорова.

Подписано в печать 15.06.22. Формат 60x84 1/8.

Бумага офсетная. Печать офсетная.

Гарнитура «Times New Roman».

Усл. печ. л.

Тираж 100 экз. Заказ №.

Рязанский государственный радиотехнический университет,
Редакционно-издательский центр РГРТУ,
390005, г. Рязань, ул. Гагарина, д. 59/1.
Отпечатано в типографии Book Jet,
390005, г. Рязань, ул. Пушкина, д. 18