

ПРИБОРОСТРОЕНИЕ, МЕТРОЛОГИЯ И ИНФОРМАЦИОННО ИЗМЕРИТЕЛЬНЫЕ ПРИБОРЫ И СИСТЕМЫ

УДК 621.333:62-233.2

В. И. ГЛУХОВ
М. Н. ЛАКЕЕНКО
С. Н. ДОЛЖИКОВ

Омский государственный
технический университет

Омский опытно-инструментальный
завод «Транспорт»

Омский государственный
университет путей сообщения

МЕТОД ИЗМЕРЕНИЙ ОТКЛОНЕНИЙ РАСПОЛОЖЕНИЯ БАЗОВЫХ ПОВЕРХНОСТЕЙ ДЛЯ РОЛИКОВЫХ ПОДШИПНИКОВ В ЩИТАХ ТЯГОВОГО ДВИГАТЕЛЯ ЛОКОМОТИВА

В статье представлены результаты исследований точности подшипниковых узлов тяговых электродвигателей локомотивов с целью повышения их надежности и долговечности. Объектом исследований являются подшипниковые щиты, в которых размещаются наружные кольца роликовых подшипников электродвигателя. Предметом исследований являются взаимосвязи геометрических характеристик основных и вспомогательных баз подшипникового щита. Результатами работы являются: идентификация системы координат подшипникового щита с помощью комплекта основных конструкторских баз, введение допуска перпендикулярности для ограничения углового перекоса оси и допуска соосности для ограничения линейного смещения оси базового отверстия для наружного кольца подшипника в двух координатных плоскостях, разработка достоверного метода и средства измерений нормируемых отклонений расположения, защищенных патентом. Результаты работы внедрены в депо Омского региона при ремонте тяговых электродвигателей локомотивов и могут быть рекомендованы для применения при проектировании, на производстве, при контроле и эксплуатации любых электродвигателей с двумя подшипниковыми опорами ротора.

Ключевые слова: технические изделия, детали, геометрические характеристики, системы координат, реальные геометрические модели.

Повышение надёжности подвижного состава железнодорожного транспорта не представляется возможным без увеличения срока службы тяговых электродвигателей локомотивов. В тяговом электродвигателе локомотива одним из узлов, определяющих

срок его службы, являются узлы моторно-якорных подшипников. Срок службы моторно-якорных подшипников далеко не всегда совпадает с расчетным, а часто оказывается во много раз меньшим, поскольку после сборки подшипниковых узлов действительные

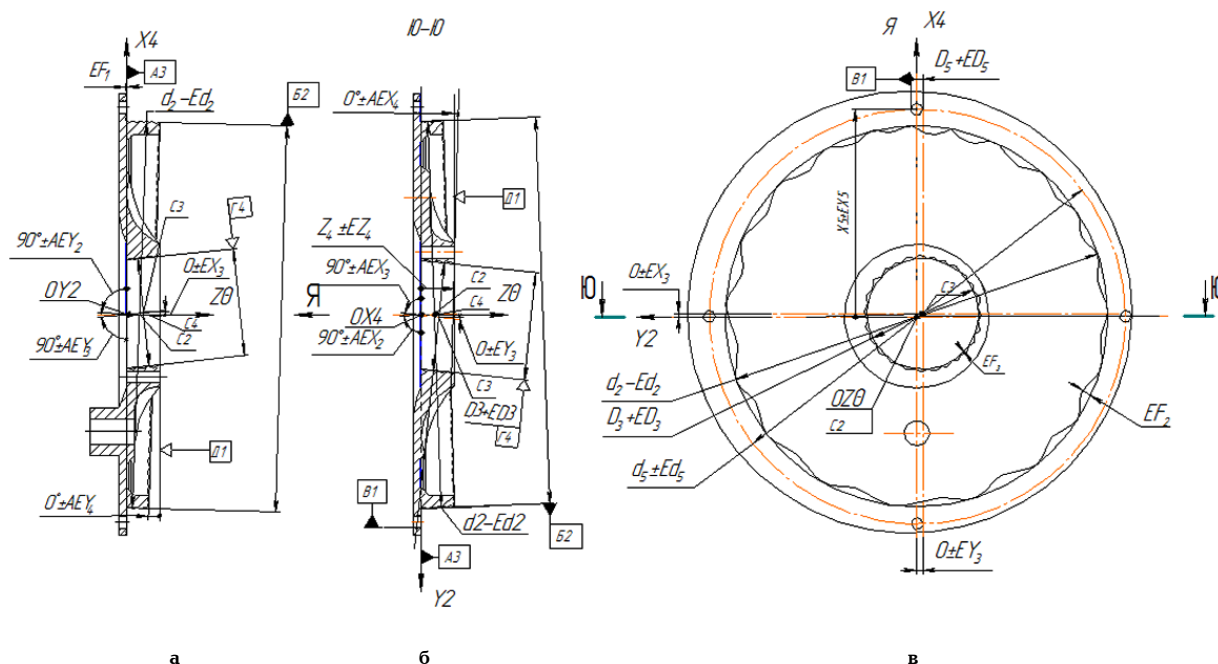


Рис. 1. Геометрическая модель подшипникового щита
 а — в плоскости $OX4Z0$; б — в плоскости $OY2Z0$; в — в плоскости $OX4Y2$

значения радиальных зазоров и углы перекосов наружных и внутренних колец не соответствуют допускаемым. Регламентированные нормативной документацией методы и средства измерений, применяемые при контроле деталей подшипниковых узлов, не способны учитывать влияние отклонений расположения поверхностей деталей на характер их сопряжения. Поскольку после сборки на радиальный зазор и угол перекоса колец оказывают влияние характер сопряжения внутреннего кольца с валом якоря и наружного кольца с подшипниковым щитом, то необходимо учитывать их совместно.

Характер сопряжения внутреннего кольца с валом якоря был рассмотрен в работах [1] и [2]. В настоящей статье представлены результаты работы, направленной на разработку метода достоверных измерений отклонений расположения базовых поверхностей для роликовых подшипников в щитах тягового электродвигателя, что является актуальной задачей по обеспечению долговечности подшипниковых узлов. Объектом исследований являются подшипниковые узлы тягового электродвигателя. Подшипниковые щиты выполняют функции опор роликовых подшипников. Предметом исследований являются взаимосвязи геометрических характеристик элементов подшипниковых щитов и методы их измерений при контроле.

Цель работы заключается в том, чтобы показать влияние перекосов и смещений осей вспомогательных баз для наружных колец в щитах на радиальные зазоры в подшипниках. Для достижения поставленной цели решены следующие задачи:

1. Разработана геометрическая модель подшипникового щита тягового электродвигателя с учетом информативности и служебного назначения его элементов в обобщенной системе координат, образованной комплектом основных конструкторских баз щита.
2. Исследовано влияние отклонений расположения элементов подшипникового щита на комплексные двухмерные размеры базовой поверхности, пред-

назначенной для посадки наружного кольца роликового подшипника, и на зазоры в подшипнике.

3. Разработана и аттестована методика измерений линейных и угловых отклонений расположения оси базового отверстия относительно обобщенной системы координат подшипникового щита.

4. Обоснованы допуски соосности и перпендикулярности оси базового отверстия для наружного кольца роликового подшипника относительно комплекта основных баз подшипникового щита.

Геометрическая модель подшипникового щита тягового электродвигателя представлена на рис. 1. Подшипниковый щит устанавливается в остов (корпус) двигателя. Комплектом основных конструкторских баз, определяющих положений подшипникового щита в остове являются: плоская установочная торцовая база $A3$ с информативностью 3, т.к. лишает подшипниковый щит трех движений: одного линейного и двух угловых; ось цилиндрической базы $B2$ с информативностью 2, лишающая подшипниковый щит двух взаимно перпендикулярных поступательных движений по базе $A3$; ось цилиндрической базы $B1$ крепежного отверстия с информативностью 1, лишающая подшипниковый щит одного вращательного движения на базе $A3$ вокруг оси базы $B2$. Поскольку число степеней свободы, лишаемых комплектом основных баз, равно шести ($3 + 2 + 1 = 6$), то основные базы образуют полную обобщенную прямоугольную систему координат [3] $OX4Y2Z0$ подшипникового щита. Ось $X4$ располагается в плоском базовом элементе $A3$, проходит через оси баз $B2$ и $B1$, имеет информативность 4. Начало координат O номинально располагается на пересечении базы $A3$ с осью цилиндрической базы $B2$, а координатная ось $Y2$ с информативностью 2 располагается в плоскости базы $A3$ перпендикулярно оси $X4$. Ось $Z0$ имеет информативность, равную нулю, т.к. это — перпендикуляр, восстановленный из начала координат O к координатной плоскости $OX4Y2$, в которой располагаются оси $X4$ и $Y2$ с общей информативностью 6.

Табличная форма геометрической модели подшипникового щита

| Номер и обозначение элемента детали и системы координат: обобщенной ОСК или вспомогательной ВСК | Вид, назначение, информативность и число ППР (первичных погрешностей расположения элемента) | Координаты, размеры и первичные погрешности расположения, размеров и формы | Базы, размеры, допуски расположения, размеров и формы по технической документации | Предложения, расчетные характеристики, варианты на основе геометрической модели |
|---|---|---|--|---|
| 1 A3 OX4Y2Z0 | П, ОБ, 1л + 2у ППР = 1л + 2у – – 1л – 2у = 0л + 0у | EF ₁ | $\square 0,05 \Gamma$ | $\blacktriangleright A3$ $\square 0,02$ |
| 2 B2 OX4Y2Z0 | Ц, ОБ, 2л ППР = 2л + 2у – 2л = 2у | 90° ± AEX ₂ 90° ± AEY ₂ d ₂ – Ed ₂ EF ₂ | $\nabla 0,04 \Gamma$ ∅920 ^{+0,07} _{+0,17} $\circ 0,1$ $\sphericalangle 0,1$ | $\blacktriangleright B2$ $\square 0,06 A$ |
| 3 Г4 OX4Y2Z0 | Ц, ВБ, 0ст ППР = 2л + 2у – 0 = = 2л + 2у | 0 ± EX ₃ 0 ± EY ₃ 90° ± AEX ₃ 90° ± AEY ₃ D ₃ + ED ₃ EF ₃ | $\blacktriangleright \Gamma$ ∅360 ^{+0,018} _{+0,035} $\circ 0,03$ $\sphericalangle 0,03$ | $\blacktriangleleft \Gamma 4$ $\odot 0,06 A B$ $\square 0,04 A$ |
| 4 Д1 OX4Y2Z0 | П, ВБ, 0ст ППР = 1л + 2у – 0 = = 1л + 2у | Z ₄ ± EX ₄ 0 ± AEY ₄ 0° ± AEY ₄ EF ₄ | 36,5 ± 1 Не нормируется Не нормируется Не нормируется | 36,5 ± 0,05 $\parallel 0,04 A$ $\square 0,02$ |
| 5 B1 OX4Y2Z0 | Ц, ОБ, 1л ППР = 2л – 1л = 1л | X ₅ ± EX ₅ d ₅ ± Ed ₅ D ₅ + ED ₅ EF ₅ | 482,5 ± 0,15 ∅965 ± 0,3 ∅17 + 0,11 Не нормируется | - |

Обозначения: ОБ — основная конструкторская база; ВБ — вспомогательная конструкторская база;
 П — плоский геометрический элемент; Ц — цилиндрический элемент;
 л — ограничение линейной поступательной степени свободы;
 у — ограничение угловой вращательной степени свободы; 0 — цифра ноль.

Вспомогательной конструкторской базой для установки наружного кольца роликового подшипника является ось двойной направляющей цилиндрической базы Г4 с информативностью 4, лишаящей наружное кольцо подшипника четырех движений: двух линейных и двух угловых. Поскольку при сборке тягового электродвигателя наружное кольцо своим внутренним торцом упирается в лабиринтное кольцо, то сопрягаемая с ним плоская поверхность подшипникового щита будет являться плоской опорной базой Д1, лишаящей кольцо одного линейного поступательного движения. В процессе эксплуатации наружное кольцо, медленно проворачивается, т. е. подшипник рассчитан на циркуляционное нагружение, поэтому число лишаемых вспомогательными конструкторскими базами степеней свободы равно пяти (4 + 1 = 5), что недостаточно для образования вспомогательной прямоугольной системы координат.

Все базы, размеры и первичные погрешности элементов геометрической модели подшипникового щита приведены в табл. 1.

Отклонения расположения элементов подшипниковых щитов согласно их геометрических моделей находятся в их обобщенных системах координат OX4Y2Z0 (рис. 1). Расчетная схема отклонений расположения оси базового отверстия под наружное кольцо подшипника в обобщенной системе координат щита в плоскости OX4Z0 приведена на рис. 2.

Угол перекоса α_{1н.щ} оси вспомогательной базовой поверхности Г4, предназначенной для базирования наружного кольца роликового подшипника в щите

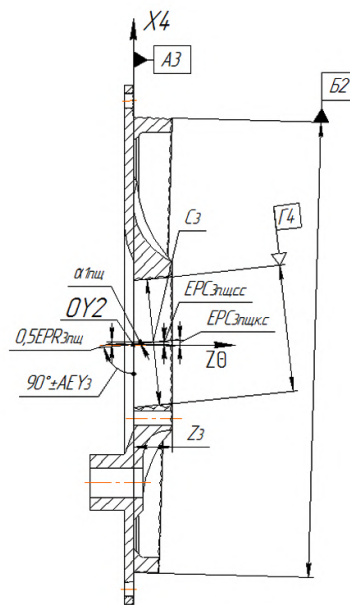


Рис. 2. Расчетная схема отклонений расположения оси гнезда под наружные кольца подшипника в щите тягового электродвигателя в плоскости OX4Zq

относительно перпендикуляра к основной базе А3, проходящего через центр С₃ оси основной базовой поверхности В2 и образующего ось Z0, можно рассчитать по формуле

Для измерения отклонений расположения элементов подшипникового щита разработаны методы измерений, схема которых представлена на рис. 3. Измерения отклонений расположения элементов подшипникового щита выполняются разностным способом.

Силовое базирование объекта измерения. Подшипниковый щит 7 базируется установочной поверхностью (основной конструкторской базой А3) на три сферические опоры 3, материализуя координатную плоскость OX_4Y_2 с возможностью поворота щита вокруг оси Z_0 на 360° . Поверхность, предназначенная для базирования подшипникового щита в остове (основная конструкторская база Б2), вводится в контакт с призматическими опорами 2, которые установлены таким образом, что угол между ними составляет 90° .

Измерительное базирование средств измерений. Базирование преобразователей 5 и 6 осуществляется на стойке 4, которая расположена на основании 1 внутри отверстия вспомогательной базы Г4 так, чтобы одна плоскость измерения находилась в среднем сечении этой базы, а вторая — в верхнем. Согласно тангенциальному способу, линии измерения преобразователей должны быть перпендикулярны касательной, проходящей через точку контакта основной базовой поверхности Б2 подшипникового щита с одной из призматических опор 2.

Алгоритм метода измерений отклонения от соосности EPC вспомогательной базы Г4, относительно основной конструкторской базы Б2. Результат измерений отклонения от соосности $EPC_{изм}$ находится по разности наибольшего и наименьшего показаний преобразователя 6 в среднем сечении за один оборот объекта измерения вокруг оси Z_0 , что соответствует измерению радиального биения ECR, которые связаны зависимостью:

$$EPC_{изм} = \frac{ECR}{K_{cx}}, \quad (2)$$

где K_{cx} — коэффициент преобразования схемы измерения отклонения от соосности $K_{cx} = 2$.

Погрешность метода измерения $\Delta_{мет} EPC$ отклонения от соосности оси вспомогательной базы Г4 относительно оси основной конструкторской базы Б2 можно рассчитать по формуле

$$\Delta_{мет} EPC = EPC_{изм} - EPC, \quad (3)$$

где EPC — отклонение от соосности по стандартизованному определению.

Согласно структуре радиального биения:

$$ECR = 2EPC + EFK_1 + EFK_2, \quad (4)$$

где EFK_1 и EFK_2 — отклонения от круглости основной Б2 и вспомогательной Г4 конструкторских баз подшипникового щита.

Погрешность $\Delta_{мет} EPC$ метода измерения отклонения от соосности находится по формуле

$$\Delta_{мет} EPC = \frac{2EPC + EFK_1 + EFK_2}{K_{cx}} - EPC = \frac{EFK_1 + EFK_2}{K_{cx}}. \quad (5)$$

Алгоритм метода косвенных измерений углового перекося $\alpha_{1,н.щ}$ оси внутренней цилиндрической поверхности вспомогательной базы Г4. Находится как отклонение от перпендикулярности EPR оси относительно основной конструкторской базы А3 по результатам прямых измерений радиальных биений ECR в двух сечениях: верхнем и среднем.

Функция связи угла перекося $\alpha_{1,н.щ}$ с отклонением от перпендикулярности оси EPR имеет вид:

$$\alpha_{1,н.щ} = \arctg \frac{EPR}{l}, \quad (6)$$

где l — длина образующей вспомогательной конструкторской базы Г4.

Отклонение от перпендикулярности EPR оси базы Г4 на длине измерения l относительно базы А3 подшипникового щита находится как разность радиальных биений ECR_1 и ECR_2 в верхнем и среднем сечениях базы Г4

$$EPR = ECR_1 - ECR_2, \quad (7)$$

учитывая, что коэффициент преобразования схемы измерения отклонения от перпендикулярности $K_{cx} EPR = 1$.

Результат измерений отклонения от перпендикулярности EPR оценивается по разности показаний преобразователей 5 и 6 за один оборот объекта измерения вокруг оси Z_0 .

Погрешность метода измерения $\Delta_{мет} EPR$ отклонения от перпендикулярности оси поверхности вспомогательной базы Г4 относительно плоскости основной конструкторской базы А3 будет практически равна нулю. При разностном способе измерения двумя измерительными преобразователями на результат измерения не будут влиять отклонения от круглости EFK_1 основной конструкторской базы Б2, т. к. на вход двух измерительных преобразователей будет одновременно поступать одно и то же местное значение отклонения от круглости базы Б2. На результат измерения не будут влиять отклонения от круглости EFK_2 вспомогательной базы Г4, т. к. оба преобразователя 5 и 6 касаются своими измерительными наконечниками одной образующей цилиндрической поверхности с одним и тем же местным значением отклонения от круглости.

По этим же причинам погрешность метода измерения углового перекося $\alpha_{1,н.щ}$ оси вспомогательной базы Г4 относительно перпендикуляра к базовой плоскости А3 подшипникового щита также практически будет равна нулю.

Методы и средства измерений запатентованы [5], внедрены в депо Омского региона, показали высокую эффективность при ремонте тяговых электродвигателей локомотивов и рекомендованы к широкому применению.

Выводы. Информация, получаемая при определении характера сопряжения деталей с использованием реальных геометрических моделей, показывает, что необходимо совместно учитывать как линейные отклонения расположения элементов, так и угловые отклонения расположения элементов деталей относительно обобщенных систем координат на основе объединения линейной и угловой размерных цепей.

1. Разработанные методы измерений отклонений расположения элементов подшипникового щита позволяют с высокой точностью оценивать линейные и угловые отклонения расположения элементов в обобщенной системе координат, материализованной комплектом основных конструкторских баз.

2. Результаты измерений отклонений расположения позволяют находить комплексные размеры поверхностей элементов, образующих посадки при их информативности меньше максимальной.

3. Отклонения расположения элементов увеличивают действующие комплексные размеры наружных элементов и уменьшают действующие комплексные

размеры внутренних элементов, изменяют характер их посадки.

Библиографический список

1. Лакеенко, М. Н. Повышение геометрической точности вала якоря тягового электродвигателя / М. Н. Лакеенко, В. И. Глухов, С. Н. Должиков // Инновации для транспорта : сб. науч. ст. с междунар. участием : в 3 ч. / М-во транспорта РФ ; Федер. агентство ж.-д. транспорта ; ОмГУПС. — ОмГУПС, 2010. — Ч. 2. — С. 51–57.
2. Лакеенко, М. Н. Измерительный комплекс для контроля отклонений от соосности элементов вала относительно общей оси / М. Н. Лакеенко, В. И. Глухов, С. Н. Должиков // Проблемы разработки, изготовления и эксплуатации ракетно-космической и авиационной техники : материалы V Всерос. науч. конф., посвящ. памяти гл. конструктора ПО «Полет» А. С. Клинышкова. — ОмГТУ, 2010. — С. 210–212.
3. Глухов, В. И. Открытие различной информативности осей координат в системах отсчета геометрических величин деталей машин и приборов / В. И. Глухов // Омский научный вестник. Сер. Приборы, машины и технологии. — 2010. — № 3 (93). — С. 193–196.
4. Глухов, В. И. Геометрические характеристики изделий. Комплексные нормы взаимозаменяемости : моногр. / В. И. Глухов. — Омск : Изд-во ОмГТУ, 2015. — 160 с.

5. Пат. 109844 U1 (RU), G01B 5/24. Устройство для измерения геометрических параметров / М. Н. Лакеенко (RU), С. Н. Должиков (RU), В. И. Глухов (RU), А. Н. Головаш (RU) ; патенто-обладатель Головаш А. Н. (RU). — № 2011122059/28 ; заявл. 31.05.2011 ; опубл. 27.10.2011, Бюл. № 30.

ГЛУХОВ Владимир Иванович, доктор технических наук, профессор кафедры нефтегазового дела, стандартизации и метрологии, заведующий секцией метрологии и приборостроения Омского государственного технического университета.

ЛАКЕЕНКО Максим Николаевич, кандидат технических наук, главный метролог Омского опытно-инструментального завода «Транспорт».

ДОЛЖИКОВ Сергей Николаевич, кандидат технических наук, доцент (Россия), доцент кафедры локомотивов Омского государственного университета путей сообщения.

Адрес для переписки: mips@omgtu.ru

Статья поступила в редакцию 10.10.2016 г.

© В. И. Глухов, М. Н. Лакеенко, С. Н. Должиков

УДК 546.26:577.322:544.723.2:620.187

**Н. А. ДАВЛЕТКИЛЬДЕЕВ
Е. Ю. МОСУР
В. В. БОЛОТОВ
И. А. ЛОБОВ**

Омский научный центр СО РАН

Омский государственный университет
им. Ф. М. Достоевского

ПОВЫШЕНИЕ ЭФФЕКТИВНОСТИ НЕКОВАЛЕНТНОЙ ИММОБИЛИЗАЦИИ ГЕМОГЛОБИНА ПРИ ФОРМИРОВАНИИ НАНОКОМПОЗИТА «ГЕМОГЛОБИН/ УГЛЕРОДНЫЕ НАНОТРУБКИ»

Исследована эффективность нековалентной иммобилизации гемоглобина (Hb) на нелегированные и легированные азотом углеродные нанотрубки (УНТ). Установлено, что адсорбция Hb на легированные УНТ существенно увеличивается при значениях pH ниже изоэлектрической точки белка. Показано, что легированные азотом УНТ адсорбируют гемоглобин с большей эффективностью, чем нелегированные, благодаря наличию дополнительного электростатического взаимодействия между белком и нанотрубкой.

Ключевые слова: гемоглобин, углеродные нанотрубки, нанокompозит, спектрофотометрия, физическая адсорбция.

Введение. Актуальность исследования взаимодействия молекул гемоглобина (Hb) с углеродными нанотрубками (УНТ) обусловлена перспективностью нанокompозитов «Hb/УНТ» для биосенсорных приложений [1]. Связывание гемоглобином O₂, NO и CO

приводит к изменению его электрических свойств, что позволяет использовать Hb в качестве активного компонента электрохимических биосенсоров. УНТ, обладая уникальными электрическими свойствами и морфологией, могут выступать в роли носителя

для молекул Hb и служить медиатором переноса заряда от белка к электрохимическому электроду [2, 3].

Для закрепления молекул белков на поверхности УНТ применяются различные методы ковалентной и нековалентной иммобилизации [4]. Считается, что нековалентная иммобилизация имеет преимущества перед ковалентной, так как вносит минимальные искажения в конформационную структуру биомолекул и электронную структуру внешних стенок УНТ. Недостатком методов нековалентного связывания является нестабильность закрепления молекул на УНТ и их возможная потеря в процессе эксплуатации структур белок/УНТ.

В связи с этим актуальным является поиск способов эффективного и стабильного закрепления Hb на УНТ с использованием методов нековалентной иммобилизации. Перспективным способом повышения эффективности иммобилизации Hb на УНТ является легирование УНТ различными примесями. При этом в стенке УНТ формируются заряженные дефекты, на которых возможно эффективно и стабильно иммобилизовать молекулы Hb посредством электростатического взаимодействия.

Ранее было получено прямое подтверждение физической адсорбции молекул Hb на поверхности легированных азотом многостенных УНТ по данным атомно-силовой и сканирующей электронной микроскопии [5].

Цель данной работы заключается в определении эффективности прямой физической адсорбции гемоглобина на нелегированные и легированные азотом углеродные нанотрубки.

Материалы и методы. Многостенные нелегированные и легированные азотом УНТ синтезировались методом химического парофазного осаждения на установке CVD-4 (ИНХ СО РАН, Россия). В результате пиролиза паров толуола (для нелегированных УНТ) и ацетонитрила (для N-легированных УНТ) при 850 °С с добавлением в качестве источника катализатора Fe ферроцена в соотношении (100:2), на подложках SiO₂/Si формировался плотный слой вертикально расположенных УНТ толщиной 15–25 мкм. По данным рентгеновской фотоэлектронной спектроскопии концентрация азота в легированных УНТ составила 4 ат. %.

В качестве препарата молекул гемоглобина использовался готовый водный раствор Hb с концентрацией 150 г/л (НПЦ «Эко-Сервис», Россия).

Из слоев УНТ готовилась водная суспензия, для чего навески УНТ диспергировались ультразвуком в деионизованной воде в течение 5 часов. К суспензии УНТ с pH 5,4 и 8,3 (корректировались 0,1 N растворами HCl или KOH, контролировались рН-метром рН-150МИ) добавляли 0,5 мл водного раствора Hb, затем встряхивали в течение 10 минут в вортексе, после чего выдерживали в течение 1 часа для осаждения УНТ с адсорбированным Hb. Надосадочная фракция раствора отбиралась дозатором и использовалась для определения концентрации неадсорбированного белка. Для исследования кинетики адсорбции Hb при pH 5,4 суспензии УНТ с Hb встряхивали в вортексе в течение 10, 20, 30 минут, затем выдерживали в течение 1 часа для осаждения УНТ с адсорбированным Hb.

Эффективность нековалентной иммобилизации Hb на УНТ определялась на основе измерения концентрации неадсорбированного белка в растворе после экспозиции с УНТ. Для определения концентрации белка измерялись спектры оптической плот-

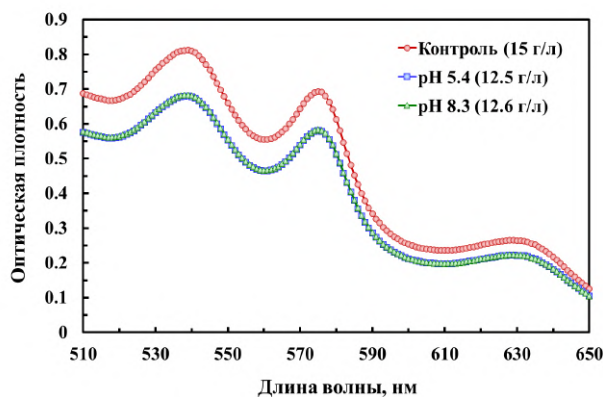


Рис. 1. Спектры оптической плотности контрольного раствора гемоглобина и растворов гемоглобина после взаимодействия с нелегированными УНТ при различных значениях pH

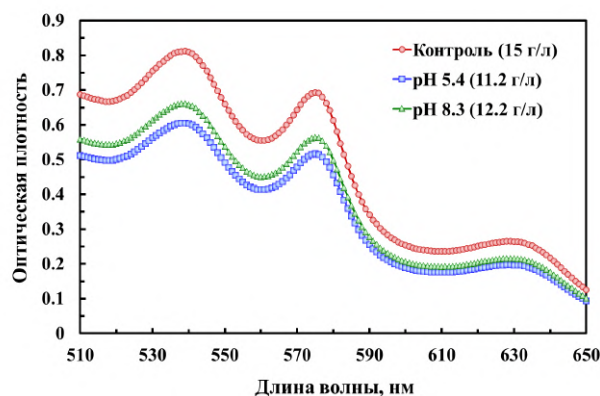


Рис. 2. Спектры оптической плотности контрольного раствора гемоглобина и растворов гемоглобина после взаимодействия с легированными азотом УНТ

ности контрольного раствора Hb (готовился добавлением 0,5 мл исходного раствора Hb в 5 мл деионизованной воды) и надосадочной фракции раствора, содержащей неадсорбированный Hb. Спектры регистрировались на спектрофотометре СФ-56 (ЛОМО, Россия) в диапазоне длин волн 510÷650 нм в кварцевых кюветках с длиной оптического пути 10 мм.

Расчет общей концентрации и содержания основных производных Hb (оксигемоглобина (HbO₂), дезоксигемоглобина (Hb), карбоксигемоглобина (HbCO) и метгемоглобина (MetHb)) производился посредством оригинальной программы «HemoSpectr» (ОмГУ, Россия) [6].

Результаты. На рис. 1. представлены типичные спектры оптической плотности растворов гемоглобина до и после адсорбции Hb на нелегированные УНТ при pH выше и ниже изоэлектрической точки белка ($pI_{Hb} = 6,8$). В легенде к спектрам представлены концентрации Hb. Концентрация гемоглобина в растворе после взаимодействия с нелегированными УНТ заметно снижается. При этом уменьшение концентрации Hb не зависит от величины pH.

На рис. 2 представлены типичные спектры оптической плотности растворов гемоглобина до и после адсорбции Hb на легированные азотом УНТ при pH выше и ниже изоэлектрической точки Hb. После взаимодействия с легированными УНТ концентрация гемоглобина в растворе существенно снижается, причем максимального снижения достигает при pH = 5,4, то есть при величине меньше изоэлектрической точки белка.

Таблица 1
Основные производные гемоглобина в растворах до и после взаимодействия с нелегированными и легированными УНТ

| | Hb | CNT+Hb | N-CNT+Hb |
|----------------------|----|--------|----------|
| HbO ₂ , % | 25 | 29 | 30 |
| Hb, % | 6 | 3 | 3 |
| HbCO, % | 2 | 2 | 2 |
| MetHb, % | 67 | 66 | 65 |

На рис. 3. показаны рассчитанные средние величины адсорбции Hb на нелегированные и легированные азотом УНТ при pH выше и ниже изоэлектрической точки белка. Адсорбция Hb на нелегированные УНТ практически не зависит от величины pH раствора. Адсорбция белка на легированные УНТ заметно выше при обеих величинах pH, но наиболее существенна при pH ниже изоэлектрической точки, когда суммарный заряд белка имеет положительный заряд.

В табл. 1 представлены доли содержания основных производных гемоглобина в контрольном растворе (Hb) и в растворах после взаимодействия с нелегированными (CNT+Hb) и легированными (N-CNT+Hb) УНТ. Из табл. 1 видно, что в растворе доминирует метгемоглобин. Кроме того, после взаимодействия с УНТ раствор насыщается кислородом, о чем свидетельствует увеличение доли оксигемоглобина. Это может быть как следствием встряхивания раствора при проведении процедуры иммобилизации, так и результатом взаимодействия Hb с молекулярным кислородом, адсорбированным на стенках УНТ.

На рис. 4 показана кинетика адсорбции Hb на нелегированные и легированные УНТ. Масса адсорбированного гемоглобина увеличивается с ростом времени экспозиции. Рассматривая процесс адсорбции гемоглобина на УНТ как обратимую адсорбцию, можно заключить, что и для нелегированных и для легированных УНТ адсорбция преобладает над десорбцией. Однако, в отличие от нелегированных УНТ, легированные азотом УНТ адсорбируют гемоглобин быстрее. Это может быть связано с более высокой эффективностью и/или стабильностью адсорбции на них.

Согласно современным представлениям [4], доминирующим типом нековалентного взаимодействия нефункционализированных УНТ с белками является гидрофобное взаимодействие (гидрофобные участки белка могут присоединяться к гидрофобным стенкам нанотрубки). Повышение эффективности прямой нековалентной иммобилизации белка на легированные УНТ может происходить за счет увеличения вклада электростатического взаимодействия молекул с заряженными дефектами в стенке УНТ (протонированные аминокислоты белка взаимодействуют с дефектами на поверхности нанотрубки). Действительно, в легированных азотом УНТ атом азота, замещая атом углерода в стенке нанотрубки (в пиридиноподобном или графитоподобном положении), формирует квазисвязанное донорное состояние, которое локально увеличивает электронную плотность и создает на поверхности УНТ аналог отрицательно заряженной функциональной группы. При $pH < pI_{Hb}$ молекулы Hb в растворе имеют положительный заряд. Электростатическое взаимодействие

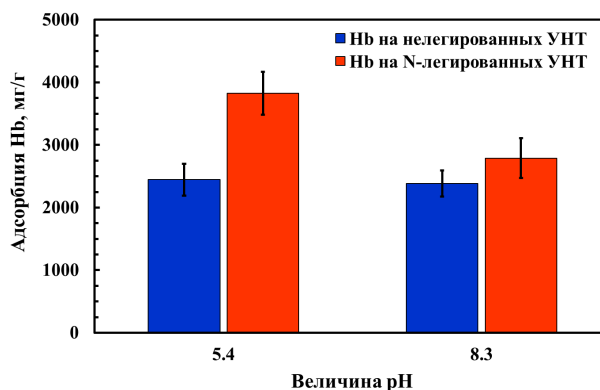


Рис. 3. Величины адсорбции Hb на нелегированные и легированные азотом УНТ при pH ниже (5,4) и выше (8,3) изоэлектрической точки белка

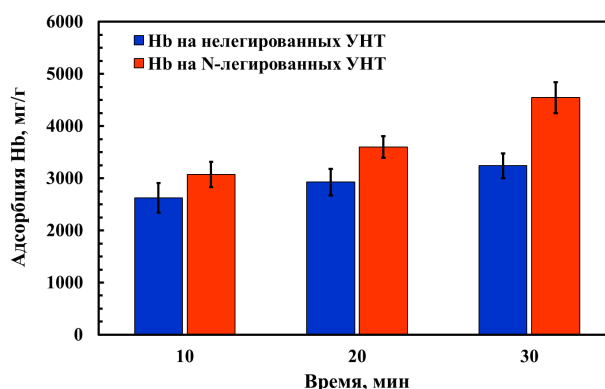


Рис. 4. Зависимость адсорбции гемоглобина на нелегированные и легированные азотом УНТ от времени (кинетика адсорбции)

положительно заряженной молекулы белка с отрицательно заряженными участками локализации атомов азота в стенке УНТ может приводить к эффективному и стабильному связыванию гемоглобина с УНТ.

Заключение. Исследовано влияние легирования азотом на эффективность нековалентной иммобилизации гемоглобина на углеродные нанотрубки. Показано, что величина адсорбции Hb на нелегированные нанотрубки не зависит от величины pH раствора. Адсорбция белка на легированные азотом УНТ выше при всех величинах pH и достигает наибольшего значения при pH ниже изоэлектрической точки белка, когда суммарный заряд молекулы имеет положительный знак. Показано, что для нелегированных и легированных УНТ процесс адсорбции гемоглобина преобладает над десорбцией. Легированные азотом УНТ адсорбируют гемоглобин с большей эффективностью, что обусловлено наличием дополнительного электростатического взаимодействия между белком и нанотрубкой.

Библиографический список

1. Yuan-Di Zhao, The interface behavior of hemoglobin at carbon nanotube and the detection for H₂O₂ / Yuan-Di Zhao, Yan-Hua Bi, Wei-De Zhang, Qing-Ming Luo // Talanta. — 2005. — Vol. 65. — P. 489–494.
2. Jun Hong, Direct electrochemistry of hemoglobin immobilized on a functionalized multi-walled carbon nanotubes and gold nanoparticles nanocomplex-modified glassy carbon electrode / Jun Hong, Ying-Xue Zhao, Bao-Lin Xiao, Ali Akbar Moosavi-

Movahedi, Hedayatollah Ghourchian, Nader Sheibani // Sensors. — 2013. — Vol. 13. — P. 8595–8611.

3. Huijun Wan, Direct electrochemistry and voltammetric determination of midecamycin at a multi-walled carbon nanotube coated gold electrode. / Huijun Wan, Faqiong Zhao, Baizhao Zeng // Colloids and Surfaces B: Biointerfaces. — 2011. — Vol. 86. — P. 247–250.

4. N. Saifuddin, Carbon nanotubes: A review on structure and their interaction with proteins / N. Saifuddin, A. Z. Raziah, A. R. Junizah // Journal of Chemistry. — 2013. — V. 2013. Article ID 676815. 18 p. DOI:10.1155/2013/676815.

5. В. В. Болотов. Физическая адсорбция гемоглобина на поверхности легированных углеродных нанотрубок / В. В. Болотов, Н. А. Давлеткильдеев, Е. Ю. Мосур // Журнал физической химии. — 2014. — Т. 88. — С. 1632–1634.

6. NemoSpectr : свидетельство об официальной регистрации программы для ЭВМ № 2001610571 РФ / Мосур Е. Ю. ; заявитель ОмГУ. — № 2001610305 ; заявл. 19.03.2001 ; зарегистр. в Реестре программ для ЭВМ 17.05.2001.

ДАВЛЕТКИЛЬДЕЕВ Надим Анварович, кандидат физико-математических наук, доцент (Россия), старший научный сотрудник Комплексного научно-исследовательского отдела региональных проблем

Омского научного центра СО РАН (ОНЦ СО РАН); доцент кафедры прикладной и медицинской физики Омского государственного университета им. Ф. М. Достоевского (ОмГУ).

МОСУР Евгений Юрьевич, кандидат физико-математических наук, доцент (Россия), старший научный сотрудник Комплексного научно-исследовательского отдела региональных проблем ОНЦ СО РАН, доцент кафедры прикладной и медицинской физики ОмГУ.

БОЛОТОВ Валерий Викторович, доктор физико-математических наук, профессор (Россия), главный научный сотрудник Комплексного научно-исследовательского отдела региональных проблем ОНЦ СО РАН, профессор кафедры прикладной и медицинской физики ОмГУ.

ЛОБОВ Иван Андреевич, аспирант кафедры прикладной и медицинской физики ОмГУ; инженер-технолог Комплексного научно-исследовательского отдела региональных проблем ОНЦ СО РАН. Адрес для переписки: LI__87@mail.ru

Статья поступила в редакцию 11.10.2016 г.

© Н. А. Давлеткильдеев, Е. Ю. Мосур, В. В. Болотов, И. А. Лобов

Книжная полка

Янгулов, В. С. Детали машин. Волновые и винтовые механизмы и передачи : учеб. пособие для магистратуры и студентов вузов по направлению подгот. 200100 – Приборостроение и специальности 200101 – Приборостроение / В. С. Янгулов. – М. : Юрайт, 2016. – 183 с.

Серия «Университеты России» позволит высшим учебным заведениям нашей страны использовать в образовательном процессе учебники и учебные пособия по различным дисциплинам, подготовленные преподавателями лучших университетов России и впервые опубликованные в издательствах университетов. Все представленные в этой серии учебники прошли экспертную оценку учебно-методического отдела издательства и публикуются в оригинальной редакции. В пособии приводятся сведения о волновых и винтовых механизмах и передачах, которые находят широкое применение в различных областях техники. Одним из основных направлений применения этих механизмов является использование их в приводах с высокими значениями параметров по точности перемещений выходного звена и по долговечности. Приведенные методики расчетов апробированы при создании реальных конструкций редукторов, которые внедрены в состав космических аппаратов. Методики обеспечивают качественный расчет параметров передач на стадии проектирования. Для студентов, обучающихся по магистерской программе «Системы ориентации, стабилизации и навигации», аспирантов, преподавателей вузов, специализирующихся в данной области техники, и может использоваться инженерами-практиками, занимающимися разработкой высокоточных редукторов с длительным ресурсом.

Егоров, П. Метрология, стандартизация и сертификация в инфокоммуникациях : учеб. пособие / П. Егоров. – М. : Academia, 2015. – 352 с. – ISBN 978-5-4468-0331-6.

Учебное пособие создано в соответствии с Федеральным государственным образовательным стандартом по направлению подготовки 210700 «Инфокоммуникационные технологии и системы связи» (квалификация «бакалавр»). Рассмотрены основы метрологии как науки об измерениях и ее роли в повышении эффективности научных исследований и создании новых инфокоммуникационных технологий. Представлены основные понятия метрологии, методах и средствах измерений, эталонах основных единиц электрических величин. Изложены основы теории погрешностей и статистической обработки результатов измерений. Приведены сведения об основах государственного регулирования обеспечения единства измерений, метрологических службах и организациях, поверке и калибровке средств измерений. Описаны методы измерений, устройство и принцип действия основных измерительных приборов. Рассмотрены законодательная и нормативная база стандартизации и подтверждения соответствия в Российской Федерации, основные системы сертификации, функции и организация работы органов по сертификации и испытательных лабораторий. Дана информация о стандартизации и сертификации в зарубежных странах. Для студентов учреждений высшего образования.

СОВРЕМЕННАЯ ИНФОРМАЦИОННО-ТЕЛЕКОММУНИКАЦИОННАЯ ИНФРАСТРУКТУРА АРКТИЧЕСКОЙ ЗОНЫ РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ КАК ОСНОВА ЕЕ ЭКОНОМИЧЕСКОГО РАЗВИТИЯ

В статье рассматриваются вопросы создания современной информационно-телекоммуникационной инфраструктуры в Арктической зоне Российской Федерации как одного из приоритетных направлений развития этого региона. Учитывая особенности распространения радиоволн в полярных областях и крайне низкую и неравномерную плотность населения, делается вывод о необходимости применения в Арктике различных информационно-телекоммуникационных технологий, использующих разные диапазоны частот. Приводятся экспериментальные данные, свидетельствующие об эффективности использования разных частотных диапазонов применительно к районам Крайнего Севера. Обосновывается целесообразность создания многозоновой гибридной телекоммуникационной системы, основанной на создании локальных многоуровневых зон и обеспечения радиосвязи как внутри самих зон, так и между ними в различных частотных диапазонах и, соответственно, с использованием различных систем телекоммуникации.

Ключевые слова: информационно-телекоммуникационная система, радиосвязь, диапазоны частот, антенна.

Специализированное гидрометеорологическое и экологическое обеспечение (СГМО) конкретных потребителей рекомендуется Всемирной Метеорологической Организацией при ООН [1] в качестве основного пути повышения экономической эффективности государственных и частных гидрометеорологических служб. В Российской Федерации разрабатываемые технологии СГМО призваны быстро и эффективно решать практические задачи, которые по ряду причин не могут быть решены Росгидрометом и его региональными подразделениями.

Одной из задач, которые при этом должны быть решены, является организация всепогодных линий связи, гарантирующих стабильную передачу данных гидрометеорологических и экологических наблюдений в режиме реального времени.

Создание современной информационно-телекоммуникационной инфраструктуры рассматривается в качестве одного из приоритетных направлений развития Арктической зоны Российской Федерации для обеспечения национальной безопасности и суверенитета страны в утвержденной Президентом Российской Федерации «Стратегии развития Арктической зоны Российской Федерации до 2020 года» [2] и ряде

других документов, закрепляющих план действий Российской Федерации, направленных на реализацию ее национальных интересов в Арктике.

Однако при этом необходимо учитывать, что Арктика является регионом с одной из самых низких плотностей населения — всего 0,1–0,2 чел. на 1 квадратный километр. Тем не менее в российской Арктике проживает более 2 млн человек, которые должны иметь доступ к современным информационным ресурсам.

Таким образом, учитывая низкую и крайне неравномерную плотность населения, а также особенности распространения радиоволн в полярных областях, организация информационно-телекоммуникационной инфраструктуры в Арктической зоне РФ не может строиться на основе какой-то одной технологии, использующей один частотный диапазон. Она должна строиться на основе многозоновой гибридной телекоммуникационной системы, основанной на создании локальных многоуровневых зон и обеспечения радиосвязи как внутри самих зон, так и между ними в различных частотных диапазонах и, соответственно, с использованием различных систем телекоммуникации.



Рис. 1. Антенно-фидерные системы компании Radio Innovation Sweden AB (RI)

Основу такой информационно-телекоммуникационной системы составляют места концентрации населения — населенные пункты, промышленные и ресурсодобывающие предприятия и т. п., в ультракоротковолновом (УКВ) диапазоне длин волн.

Наиболее известной технологией, решающей эту задачу, является стандарт GSM (*Global System for Mobile Communications*) — глобальный стандарт цифровой мобильной сотовой связи, с временным (TDMA) и частотным (FDMA) разделением каналов. В последнее время широкое распространение получила технология CDMA (*Code Division Multiple Access* — множественный доступ с кодовым разделением) — технология радиосвязи, при которой каналы передачи имеют общую полосу частот, но каждый абонент кодируется своей псевдослучайной последовательностью, т. е. в первом случае физической, во втором — логическое разделением каналов.

В любом случае площадь покрытия УКВ системой радиосвязи ограничена пределами прямой видимости, которая определяется высотой поднятия антенн. При этом в малонаселенных северных поселках отсутствуют высотные здания, на которых можно было бы разместить антенны УКВ радиосвязи, которые обеспечивали бы достаточную площадь покрытия, поэтому их придется размещать на специальных антенных мачтах. Кроме того, необходимо, чтобы такая мачта обеспечивала максимальное покрытие желательной всей территории компактного проживания населения.

Эта задача может быть решена при использовании семейства высокопроизводительных антенно-фидерных систем, разработанных шведской компанией Radio Innovation Sweden AB (RI) (рис. 1) [3], официальным дилером которой является Российский государственный гидрометеорологический университет (РГГМУ).

Специальная мачта проектируется для большой полезной нагрузки и минимального ветрового сопро-

тивления. Антенны имеют Кус 29 дБи, Кш < 1 дБ, подводимую мощность до 80 Вт. Дополнительное покрытие достигается за счет увеличения высоты мачты до 120 м. Усиление сигнала в дальней зоне (5–30 км) составляет 17–27 дБ. В ближней зоне (0–1 км) сигнал ослаблен на 10 дБ и оставлен без изменений в радиусе 2–3 км.

Ширина луча в азимутальной плоскости зависит от числа дипольных рядов в секторе (обычно от 1 до 3), обеспечивающих углы 65°, 45°, 32° и 22° (рис. 2а). Вертикальный луч создается 64 диполями (8×8 или 16×4) (рис. 2б).

Вращение фаз и суммирование/деление мощности выполняется в фидере и в специальном формирователе вертикального лепестка. Применяются асимметричные постоянные коэффициенты деления для заполнения нулей. Верхние лепестки отсекаются до уровня минус 30 дБ от главного лепестка. Электрический наклон обычно равен минус 0,5°. Максимальную мощность антенна излучает в радиусе 7–10 км.

Развернутые в Кении и в США (Штат Миссури) антенно-мачтовые системы RI позволяют значительно повысить площадь покрытия (рис. 3).

Сравнение стандартных антенно-мачтовых систем с системами RI показывает, что при примерно равной высоте антенной мачты (50 м стандартные и 58 м RI) последние позволяют повысить площадь покрытия от 2 до 8 раз, в зависимости от используемой системы мобильной связи. Увеличение высоты мачты вдвое до 116 м позволяет повысить площадь покрытия более чем на порядок.

Однако дальнейшее расширение площади покрытия УКВ радиосвязи за счет увеличения высоты поднятия антенн малоэффективно. Увеличение высоты антенной мачты вдвое с 116 до 232 м дает выигрыш в площади покрытия всего чуть больше 17%. Расширения зоны покрытия за счет увеличения числа антенных мачт крайне затратно, так как антенные

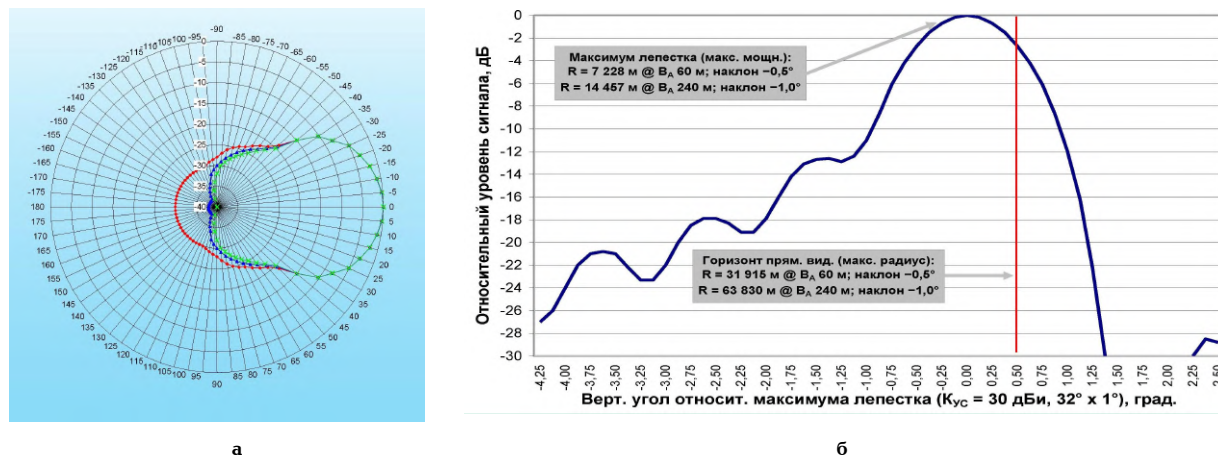


Рис. 2. Диаграммы направленности антенн в горизонтальной (а) и вертикальной (б) плоскостях

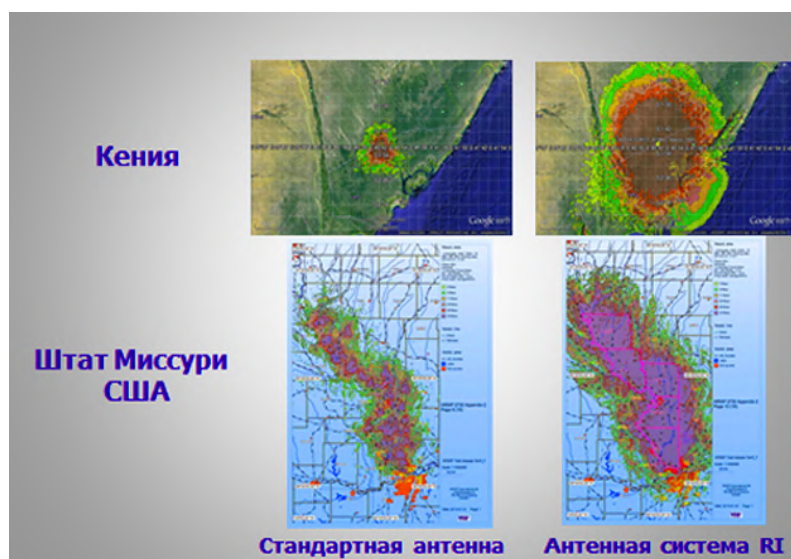


Рис. 3. Зоны покрытия стандартной антенной и антенной системой RI

системы характеризуются площадью покрытия и затраты увеличиваются пропорционально квадрату радиуса зоны обслуживания. При этом плотность населения по мере удаления от центра снижается и за пределами мест локальной концентрации населения имеются отдельные группы людей (оленовческие стойбища, геологоразведочные партии, мобильный транспорт различного назначения и т. д.), которые разбросаны по значительной по площади территории.

Таким образом, дальнейшее расширение зон покрытия УКВ радиосистем, с одной стороны, требует многократного увеличения затрат, с другой — эффективность его использования резко снижается.

Эту задачу экономически целесообразно решать с использованием радиосвязи в других частотных диапазонах, например, в средневолновом (СВ) и в нижней части коротковолнового (КВ) диапазонов [4]. Радиосвязь в этих диапазонах осуществляется поверхностной (земной) волной на расстояния до нескольких сотен километров, под ионосферным «зонтиком», обеспечивающим повышенную «комфортность» такой радиосвязи.

Однако применение КВ диапазона, традиционно используемого для осуществления ионосферных дальних и сверхдальних связей, в ближней зоне затруднено, так как он имеет так называемую «мерт-

вую зону» в радиусе до 500 км. Использование для решения этой задачи вертикального облучения ионосферы с помощью антенн зенитного излучения NVIS-радиосвязи (Near Vertical Incidence Skywave propagation) [5] в арктических широтах проблематично, так как вблизи полярных районов ионосфера более возмущена и имеет аномальное поглощение радиоволн.

Большая длина волны позволяет связываться поверхностной волной на расстояниях, значительно превышающих зону прямой видимости за счет явлений дифракции и рефракции, что дает возможность обеспечить связь в этом диапазоне на расстояния до нескольких сотен километров, осуществляя загоризонтную радиосвязь. При этом радиосвязь остается достаточно стабильной в радиусе до 500 км — мертвая зона КВ радиосвязи [6].

Основным сдерживающим фактором использования СВ (нижней части КВ) диапазонов для радиосвязи с подвижными объектами являются большие габариты полноразмерных антенн, соразмерных длине волны, что затрудняет их размещение на мобильных объектах (автомобилях, судах и т.п.). Поэтому на них используются укороченные антенны с малой действующей высотой, однако при длине вибратора меньшей, чем четверть длины волны, импеданс антенны носит ёмкостный характер, для компенсации

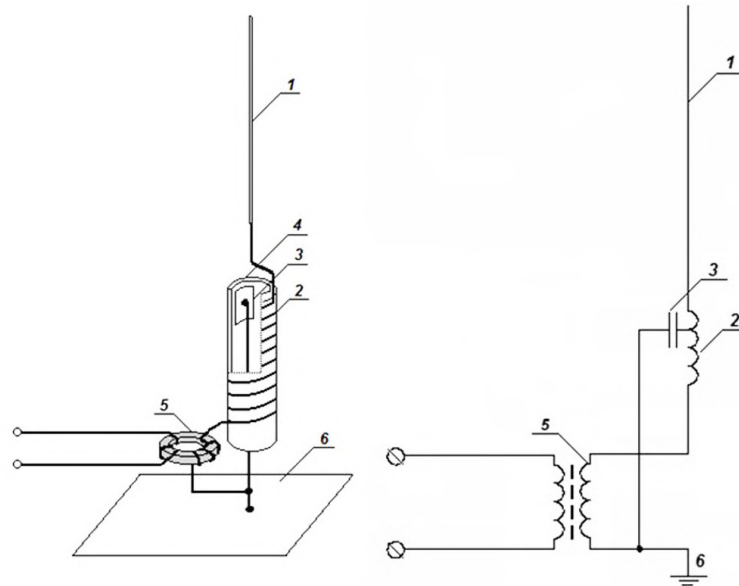


Рис. 4. Конструкция штыревой укороченной антенны и ее электрическая схема



Рис. 5. Результаты испытаний для определения потенциальной дальности передачи сигналов на частоте 500 кГц

реактивной составляющей которого применяется удлиняющая катушка достаточно большого номинала (в СВ диапазоне составляет единицы мГн).

Для решения этой задачи могут использоваться так называемые ЕН-антенны [7]. Однако конструкция таких антенн обладает следующими недостатками:

- малые размеры вибратора требуют компенсации в согласующем устройстве большой емкостной составляющей импеданса антенны и применения удлиняющей катушки с большой величиной индуктивности, что сужает полосу пропускания антенны и требует использования ферритовых сердечников, что ограничивает вводимую мощность антенны на уровне единиц Вт;

- использование противовеса малых размеров приводит к уменьшению коэффициента полезного действия антенны и увеличению влияния электромагнитных свойств подстилающей поверхности на диаграмму направленности антенны; кроме того, любое изменение расположения окружающих предметов приводит к изменению резонансной частоты и рассогласованию антенны;

- применение единого согласующего элемента для согласования реактивной и активной составляющих входного импеданса антенны усложняет процесс настройки.

- для перестройки антенны потребуется изменение величины индуктивности удлиняющей ка-

тушки, что при выполнении её на замкнутом магнитопроводе затруднительно.

Для решения поставленной задачи была разработана конструкция антенны (рис. 4) [8], которая содержит, широко распространенный на морском флоте, штыревой вибратор, противовес, согласующее устройство, состоящее из удлиняющей катушки и трансформатора. Удлиняющая катушка выполнена на диэлектрическом каркасе, внутрь которого введен электрод, установленный с возможностью перемещения вдоль оси катушки и образующий вместе с витками удлиняющей катушки добавочную ёмкость.

Оценка эффективности использования такой антенны была проверена в ходе натурных испытаний на реальных радиотрассах (рис. 5) [9], которые показали возможность передачи в СВ диапазоне частот:

- сигналов аналоговой телефонии (класс излучения J3E, на нижней боковой полосе частот) с удовлетворительным качеством (оценка 3 по пятибалльной системе) при мощности передатчика 100 Вт на расстоянии до 300 км;

- сигналов частотной телеграфии (класс излучения F1B, частотный сдвиг 170 Гц, скорость передачи данных 100 бит/с) при мощности передатчика 100 Вт на расстоянии более 350 км при коэффициенте исправного действия (КИД) радиолинии близким к 100 %;

- цифровых данных со скоростью 1200 бит/с (класс излучения частотная манипуляция с минимальным сдвигом FFSK Fast Frequency Shift Keying), при мощности передатчика 8 Вт на расстоянии до 84 км при значении КИД около 80%, а при мощности передатчика 100 Вт на расстоянии до 300 км при значении КИД около 85 %.

Наконец, для обеспечения глобальности создаваемой системе необходимо все локальные зоны покрытия УКВ и СВ систем объединить в единую сеть. Наиболее эффективно это можно сделать, используя проводные, в частности, оптоволоконные линии привязки. При сравнительно небольшом расстоянии между зонами можно применить радиорелейные линии, используя те же антенные мачты с размещенным на них оборудованием радиорелейной связи. Если прокладка проводных и организация радиорелейных линий связи технически сложны или экономически не выгодны, то могут использоваться спутниковые системы связи. По сути, это те же УКВ радиолинии, у которых антенны базовой станции подняты на космическую орбиту.

Спутниковые системы в зависимости от высоты орбит, занимаемых спутниками, имеют свои достоинства и недостатки. Высокоорбитальные спутниковые системы связи имеют спутники на геостационарных орбитах. Достоинством таких систем является ограниченное количество спутников, достаточно 3–4 спутника. Основные их недостатки:

- значительная удаленность спутников, требующая повышенной мощности и чувствительности как земных, так и орбитальных станций,

- ограниченное покрытие территории земного шара, вытекающее из физических принципов геостационарной орбиты.

Границей зоны обслуживания спутниковой системы связи INMARSAT считается кривая, для каждой точки которой угол возвышения спутника больше 5 град. Кроме того, зона охвата спутников системы INMARSAT Индийского и Тихого океанов имеет разрыв рабочей зоны в Восточной Арктике, примерно от 100 до 140 град. в.д.

От этих недостатков свободны средне- или низкоорбитальные спутниковые системы. Однако они имеют свои недостатки. Чем ниже орбиты спутников, тем большее их количество требуется для глобального покрытия всей территории Земли. Низкоорбитальная спутниковая система связи Iridium имеет 66 спутников на шести орбитах. Это увеличивает как стоимость развертывания подобных систем, так и их трафика. Кроме того, применительно к полярным областям такие системы должны «пробивать» достаточно толстый слой ионосферы с аномальной степенью ионизации.

Наиболее дешевым как с точки зрения развертывания, так и, особенно, эксплуатации является использование эффекта дальнего распространения радиоволн в КВ диапазоне за счет отражения радиоволн от ионосферы. При этом радиотрассы большой дальности необходимо выбирать таким образом, чтобы точка отражения находилась вне зоны аврального овала, а угол наклона к радиогоризонту должен быть таким, чтобы радиоволны не пересекали зону повышенного поглощения. В этом случае условия радиосвязи наиболее благоприятные и проблему организации радиосвязи можно решать организационными методами, используя автоматическую ретрансляцию сигналов удаленным ретранслятором.

Несмотря на всю сложность организации радиосвязи в КВ диапазоне, связанную с большой его загруженностью и изменчивостью среды распространения радиоволн — ионосферы Земли, именно радиосвязь в КВ диапазоне является одним из основных телекоммуникационных ресурсов, используемых для радиосвязи с мобильными объектами. Поэтому для обеспечения гарантированной надежности оперативности и достоверности радиосвязи необходимо внедрение технологии автоматического ведения адаптивной радиосвязи в КВ диапазоне [10, 11], которая предполагает комплексное использование нескольких технологий:

- технологии автоматического составления канала связи (ALE Automatic Link Establishment) с автоматическим выбором рабочей частоты;

- технологии высокоскоростной передачи данных, с прямой коррекцией ошибок (FEC Forward Error Correction) и автоматическим запросом повторения непринятых пакетов (ARQ Automatic Repetition reQuest);

- технологии ионосферного мониторинга на базе долгосрочного и оперативного прогнозирования условий распространения радиоволн;

- технологии пакетной передачи информации, с использованием адаптивной маршрутизации и многостанционного доступа в радиоканал общего пользования.

В результате комплексного объединения базовой сети пакетной передачи данных на основе использования стандартизованных сетевых технологий появляется возможность построения совмещенной сети на основе единого алгоритма обмена пакетами, используя ресурсы сети общего пользования. В этом случае возникает необходимость применения функций сетевого уровня.

Один из возможных алгоритмов множественного доступа корреспондентов к удаленному ретранслятору является частотно-временной метод. При реализации данного метода множественного доступа, как показано на рис. 6, для связи на первом участке, между абонентской станцией (АСт) и удаленным ретранслятором выделяются (назначаются) отдельные группы рабочих частот [12].

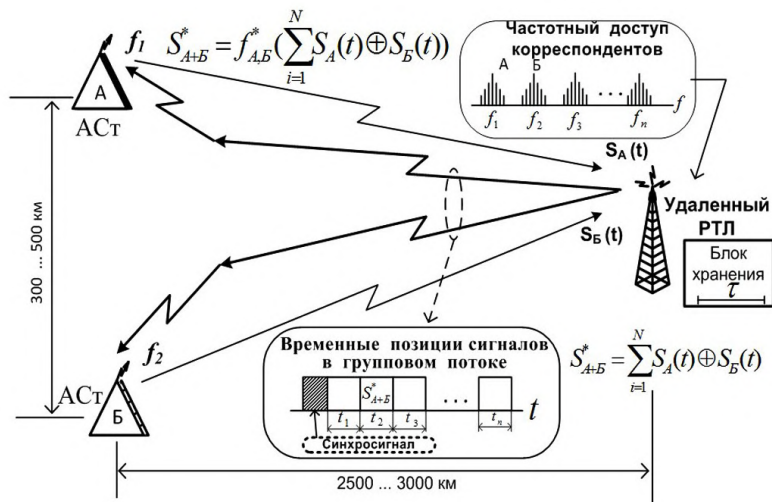


Рис. 6. Метод многостанционного доступа к удаленному ретранслятору

На втором участке связи, между удаленным ретранслятором и АСт, для работы используется единый групповой информационный поток, причем каждому временному каналу в групповом потоке соответствует информационный сигнал от двух корреспондентов.

При рассмотрении механизма межсетевое взаимодействия основная особенность заключается в том, что подсети пакетной радиосвязи соединяются «пограничными» маршрутизаторами с сетью общего пользования. Каждый маршрутизатор, выполняющий функции промежуточной системы, реализован аппаратно-программно и входит в состав сервера удаленного радиодоступа подсети пакетной радиосвязи и имеет в каждой такой подсети внутренний адрес, как и остальные конечные системы этой сети.

При этом моноканал используется для передачи данных всеми пользователями сети в режиме множественного доступа с контролем занятости. Во избежание наложения (коллизии) сигналов, возможно использование многомерных (матричных) сигналов и множественного доступа с кодовым разделением абонентов. В этом случае сигнально-кодовая конструкция, используемая источниками сообщения для передачи информации, позволяет вести одновременную передачу нескольких пакетов от различных радиоабонентов в одном цикле передачи, не создавая взаимных помех друг для друга.

Алгоритм формирования может быть стохастическим, когда из большой совокупности сигналов (например, полного кода) методом случайного поиска отбираются сигналы с заданными авто- и взаимно-корреляционными свойствами.

Таким образом, алгоритмом множественного доступа групповых корреспондентов к удаленному ретранслятору является частотно-временной метод, а для отдельных абонентов используется кодовое разделение каналов.

Использование описанного подхода к обеспечению надежной связи открывает новые возможности для развития новых технологий СГМО и, следовательно, для повышения эффективности и безопасности осуществления экономической деятельности в Арктической зоне Российской Федерации.

Библиографический список

1. План осуществления Глобальной рамочной основы для климатического обслуживания (Всемирная Метеорологическая

Организация). Режим доступа : http://www.wmo.int/gfcs/sites/default/files/implementation-plan//GFCS-IMPLEMENTATION-PLAN-14211_ru.pdf (дата обращения: 23.09.2016).

2. «Стратегия развития Арктической зоны Российской Федерации до 2020 года». — Режим доступа : https://minec.govmurman.ru/activities/strat_plan/arkticzone/ (дата обращения: 23.09.2016).

3. Radio Innovation Sweden AB. — Режим доступа : http://radioinnovation.net/tb/ru/o_nas/ (дата обращения: 23.09.2016).

4. Дулькейт, И. В. Особенности организации радиосвязи в Арктической зоне Российской Федерации / И. В. Дулькейт, С. А. Завьялов, И. С. Землянов // Россия молодая: передовые технологии — в промышленность. — 2015. — № 2. — С. 25–31.

5. Поляков, В. Т. NVIS техника ближней связи на КВ / В. Т. Поляков // Спецтехника и связь. — 2009. — № 1. — С. 59–63.

6. Дулькейт, И. В. Перспективы использования средневолнового диапазона для информационного обеспечения безопасности мореплавания в акватории Северного морского пути / И. В. Дулькейт, С. А. Завьялов, В. Л. Хазан // Развитие Арктики и приполярных регионов : сб. материалов Всерос. науч.-практ. конф., 15–16 мая 2014 г., Екатеринбург. — Екатеринбург : Изд-во УрФУ, 2014. — С. 181–184.

7. Кононов, В. ЕН антенна 40-метрового диапазона / В. Кононов. — Режим доступа : <http://www.ehant.narod.ru> (дата обращения: 20.04.2010).

8. Пат. 154886 U1 РФ, МПК Н 01 Q 1/00. (2006.01). Малогабаритная вибраторная антенна систем сети передачи данных в диапазонах средних и промежуточных волн / Завьялов С. А., Ляшук А. Н., Фахрутдинов Р. Р., Чащин Е. А.; заявитель и патентообладатель Омский государственный технический университет. — № 2015110530/28; заявл. 24.03.2015; опубл. 10.09.2015, Бюл. № 25 (II ч). — 2 с.

9. Дулькейт, И. В. Результаты натурных испытаний средневолновой мобильной радиостанции на радиотрассах средней дальности / Дулькейт, И. В. С. А. Завьялов, А. В. Косых, А. Н. Ляшук, Е. А. Чащин // Омский научный вестник. Сер. Приборы, машины и технологии. — 2016. — № 3 (147). — С. 82–86.

10. Дулькейт, И. В. Адаптивные системы ПВ/КВ радиосвязи как способ повышения безопасности мореплавания / И. В. Дулькейт, Д. Е. Зачатейский, И. С. Землянов, А. А. Максимов, А. Н. Юрьев // Проблемы развития корабельного вооружения и судового радиоэлектронного оборудования. — 2013. — Вып. 2. — С. 80–87.

11. Дулькейт, И. В. Мониторинг ионосферных радиоканалов как основа обеспечения устойчивой радиосвязи в интересах освоения Арктической зоны Российской Федерации / И. В. Дулькейт, В. М. Свирицкий, В. В. Ханьчев // Морские информационно-управляющие системы. — 2016. — № 1 (9). — С. 86–91.

12. Дулькейт, И. В. Использование сетевых технологий в радиосвязи для передачи информации по безопасности мореплавания / И. В. Дулькейт, В. А. Куринный, В. М. Свирский, Г. Е. Румянцев, А. Р. Шигабутдинов // Морское образование: традиции, реалии и перспективы : сб. материалов науч.-практ. конф. — СПб., 2015. — С. 269–280.

ДУЛЬКЕЙТ Игорь Владимирович, кандидат технических наук, старший научный сотрудник кафедры радиотехнических устройств и систем диагностики Омского государственного технического университета (ОмГТУ).

Адрес для переписки: dulkeytiv@yandex.ru

ЗАВЬЯЛОВ Сергей Анатольевич, кандидат технических наук, доцент (Россия), доцент кафедры радиотехнических устройств и систем диагностики ОмГТУ.

Адрес для переписки: zavyalov62@mail.ru

БРЫКСЕНКОВ Андрей Александрович, заместитель директора представительства Российского государственного гидрометеорологического университета, г. Москва; член Полярной комиссии Русского географического общества.

Адрес для переписки: ets-spb@mail.ru

КУЗЬМИН Вадим Александрович, доктор технических наук, заведующий кафедрой гидрогеологии и геодезии Российского государственного гидрометеорологического университета, советник ректора по науке Российского государственного гидрометеорологического университета, г. Санкт-Петербург.

Адрес для переписки: vknoaa@hotmail.com

Статья поступила в редакцию 25.09.2016 г.

© И. В. Дулькейт, С. А. Завьялов, А. А. Брыксенков, В. А. Кузьмин

УДК 528.53:004.932:623.482

**А. В. ЗУБАРЬ
Э. А. ГЕЙНЦЕ
В. П. ПИВОВАРОВ**

Омский автобронетанковый инженерный институт

СПОСОБ АВТОМАТИЧЕСКОЙ КОРРЕКЦИИ ДЕМПФИРОВАНИЯ ПРИВодОВ НАВЕДЕНИЯ СТАБИЛИЗАТОРА ВООРУЖЕНИЯ

В данной научной работе изложен способ автоматизации процесса измерения и поддержания на заданном уровне параметров стабилизатора вооружения, а именно величин демпфирования приводов наведения в вертикальной и горизонтальной плоскостях. Особенностью предлагаемого способа автоматической коррекции демпфирования является применение в качестве датчика угла цифровой видеокамеры. Приведена структура измерительного приложения, реализующего данный способ, и проведена его экспериментальная проверка.

Ключевые слова: стабилизатор танкового вооружения, демпфирование, цифровая видеокамера, измерительное приложение угловых отклонений.

В военной технике автоматизация занимает одну из главнейших ролей, определяя такие важные качества образца вооружения, как огневая мощь, защищенность, подвижность и командная управляемость. Автоматизация все больше применяется в комплексах и системах защиты, управления вооружением, работой силовой установки и пр. Соответственно, все более актуальными являются работы, например, [1, с. 176–180; 2, с. 214–224; 3, с. 44–46], направленные на разработку систем диагностирования данных автоматических систем. Причем желательно, чтобы сама система диагностирования требовала минимального привлечения человека и обеспечивала снятие и поддержание на необходимом уровне в автоматическом режиме контролируемых параметров.

Цель данной научной работы — разработка эффективного способа автоматизаций измерения и поддержания на заданном уровне параметров ста-

билизатора вооружения, а именно величин демпфирования приводов наведения в вертикальной и горизонтальной плоскостях.

Особенностью предлагаемого способа автоматической коррекции демпфирования является применение в качестве датчика угла цифровой видеокамеры, что позволит в перспективе:

во-первых, за счет применения только одного датчика для вертикальных и горизонтальных измерений обеспечить более простую конструкцию системы автоматической диагностики;

во-вторых, повысить степень автоматизации выверки линий визирования прицелов и основного вооружения боевой машины.

Сущность данного способа поясняется схемой, представленной на рис. 1.

Предполагается два варианта осуществления автоматической коррекции демпфирования — по удаленной точке и по измерительному щиту.

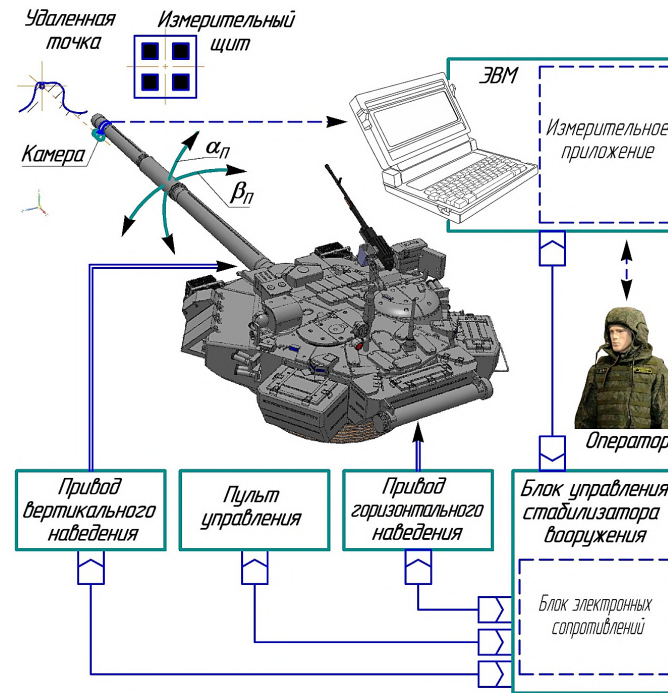


Рис. 1. Способ автоматической коррекции демпфирования приводов наведения стабилизатора вооружения

При коррекции по удаленной точке в качестве опорной точки принимается объект или участок местности, расположенные на значительном удалении от боевой машины. Например, для танка Т-72Б точка считается удаленной при её расположении на расстоянии не менее 1000 м. Коррекция по измерительному щиту предпочтительна в заводских и парковых условиях, когда дальность прямой видимости ограничена местностью или различными строениями.

В данном варианте предлагаемого способа установка цифровой камеры предполагается на дульном срезе канала ствола танковой пушки с таким исполнением, чтобы ось симметрии пушки и оптическую ось объектива камеры можно было считать параллельными.

Изображения окружающей местности в цифровом виде по проводной или по беспроводной связи передается в ЭВМ.

Изображение удаленного объекта на изображении с видеокамеры указывается или оператором в ручном режиме, или автоматически программным способом.

Начальный кадр с исходным положением опорной точки и все следующие кадры с текущими положениями опорной точки обрабатываются измерительным приложением, осуществляющим прием видеоизображений с цифровой камеры и их дальнейшую автоматическую обработку с получением переходных характеристик, определением показателей демпфирования и выработкой ступенчатых воздействий на приводы стабилизатора вооружения.

Согласование ЭВМ с приводами стабилизатора вооружения осуществляется через проводное соединение, выводы которого соединены с блоком электронных сопротивлений блока управления стабилизатора.

Предполагается, что в качестве электронных сопротивлений могут применяться ИС, например, семейства Dallastat DS1869 [4], представляющие собой цифровые реостаты с 64 равными ступенями изменения сопротивления в диапазоне полного со-

противления и выпускаемые в стандартных номиналах 10 кОм, 50 кОм, и 100 кОм. Потенциометры семейства Dallastat могут управляться либо управляющим сигналом с механическим замыканием контакта, либо источником цифрового сигнала, таким как CPU.

Электронные сопротивления включаются в блоке управления стабилизатора вооружения для шунтирования цепей пульта управления и цепей обратных связей.

Таким образом, управляющие ступенчатые воздействия, выработанные измерительным приложением ЭВМ, через электронные сопротивления, шунтирующие цепи пульта управления, позволяют осуществлять выход танковой пушки и башни на перебросочные скорости в вертикальной и горизонтальной плоскостях. А через электронные сопротивления в обратных связях стабилизатора осуществляется изменение величин их передаточных коэффициентов, выполняя корректировку показателей демпфирования.

Функционально структура измерительного приложения поясняется рис. 2.

Измерительное приложение содержит исполняемые модули или команды, выполненные с возможностью исполнения, по меньшей мере, одним процессором и обеспечивающие: прием изображений с видеокамеры, прием исходных данных с устройства ввода, обработку полученных изображений в вычислительном блоке с формированием необходимой информации на мониторе ЭВМ, вывод сигналов в блок управления стабилизатора вооружения с целью коррекции его характеристик.

Модуль формирования видеоизображения обеспечивает возможность создания интерфейса программы для отображения через видеосмотровое устройство, такое как жидкокристаллический монитор.

Интерфейс программы обеспечивает возможность отображения видеоданных, взаимодействие пользователя с видеоданными и указания опорных точек для проведения измерений.

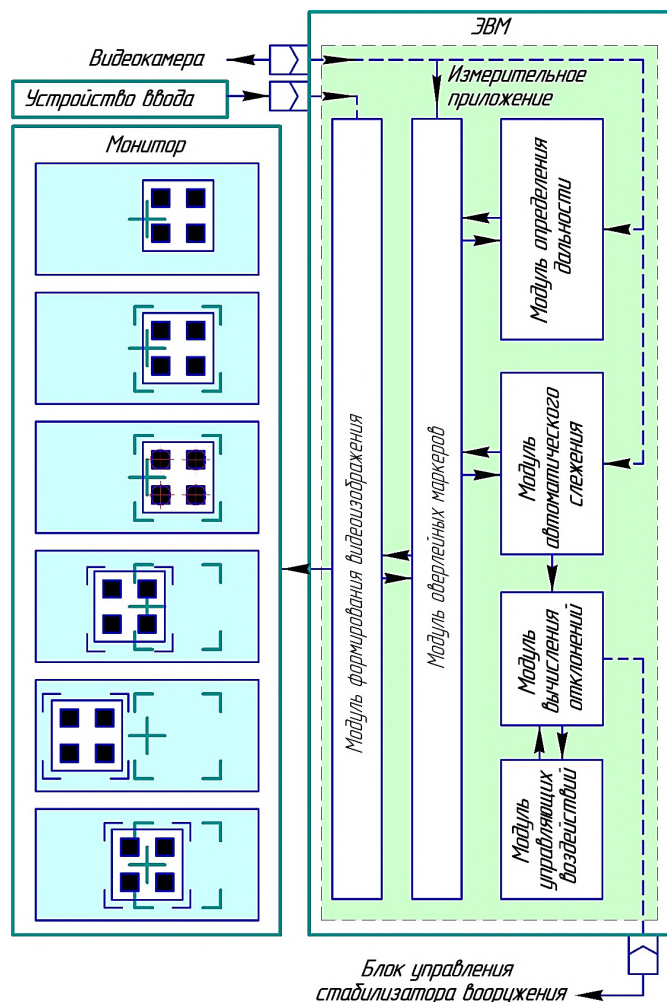


Рис. 2. Функциональная схема измерительного приложения

Для обеспечения взаимодействия пользователя с видеоданными служит устройство управления и ввода данных (например, мышь, шаровой указатель, стилус, сенсорная панель и т. д.).

Модуль оверлейных маркеров выполнен с возможностью приема данных о положении объектов из памяти и маркирования их на изображении.

Модуль определения дальности содержит команды и модули, обеспечивающие возможность проведения точных измерений дальности до измерительного щита и определение угла относительно оптической оси камеры на щит. Пример работы измерительного приложения по распознаванию геометрических примитивов на измерительном щите на основе алгоритмов математической морфологии [5, с. 747 – 759; 6, с. 229 – 239] представлен на рис. 3. В данном случае модуль определения дальности применяет операции эрозии, что позволяет вычистить из изображения ненужные элементы и убрать шумы, а затем операции дилатации, позволяющие восстановить исходную форму и размер калибровочного изображения. Далее применяется алгоритм распознавания геометрических примитивов, в результате чего вычисляются геометрические центры «квадратов». Эта операция позволяет определить размер длин проекций калибровочного изображения от измерительного щита и вычислить расстояние до него.

Модуль автоматического слежения осуществляет операции:

— кадрирования изображения, полученного с камеры и определения размеров и координат об-

ласти поиска — данная операция обеспечивает повышение быстродействия и надежности определения объекта на изображении за счет того, что в процессе нахождения координат анализируется не все изображение, а только его узкая часть, соответствующая области поиска;

— сканирования, путем осуществления последовательного кадрирования области поиска окном с размерами по горизонтали и вертикали, соответствующим размерам области положения объекта;

— вычисления нормированной двумерной корреляционной функции между областью положения объекта интереса и каждым из поступающих из модуля сканирования участков области поиска;

— определения координат максимума путем определения порядкового номера (координат) и максимального значения массива значений корреляционной функции;

— перевода координат максимума нормированной двумерной корреляционной функции в координаты положения изображения объекта на изображении в текущем кадре относительно его положения в предыдущем кадре.

Модуль вычисления отклонений:

— принимает из модуля автоматического слежения данные по смещениям центра изображения объекта;

— преобразует эти смещения в значения углов отклонения орудия и башни;

— принимает данные из модуля управляющих воздействий;

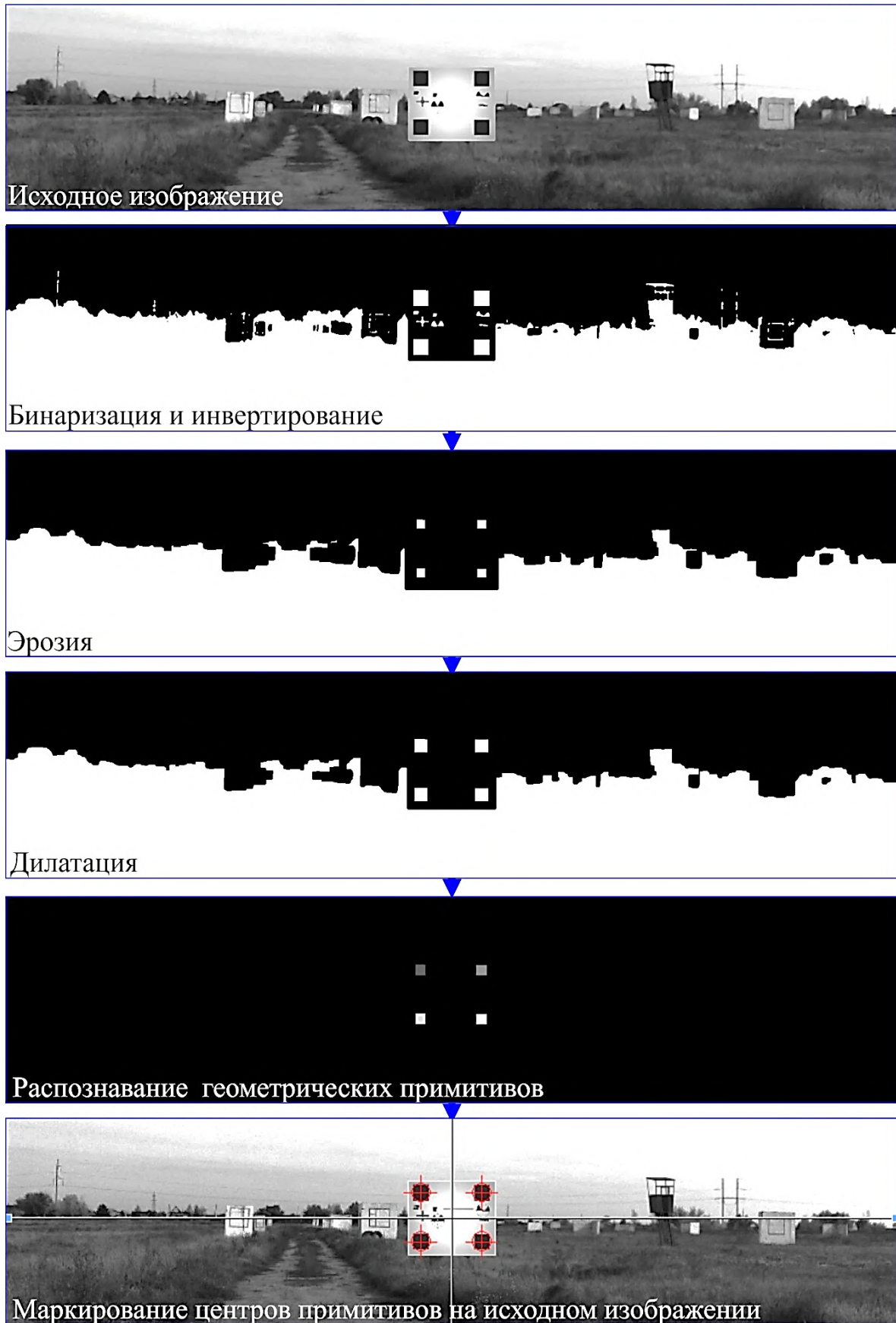


Рис. 3. Пример работы измерительного приложения

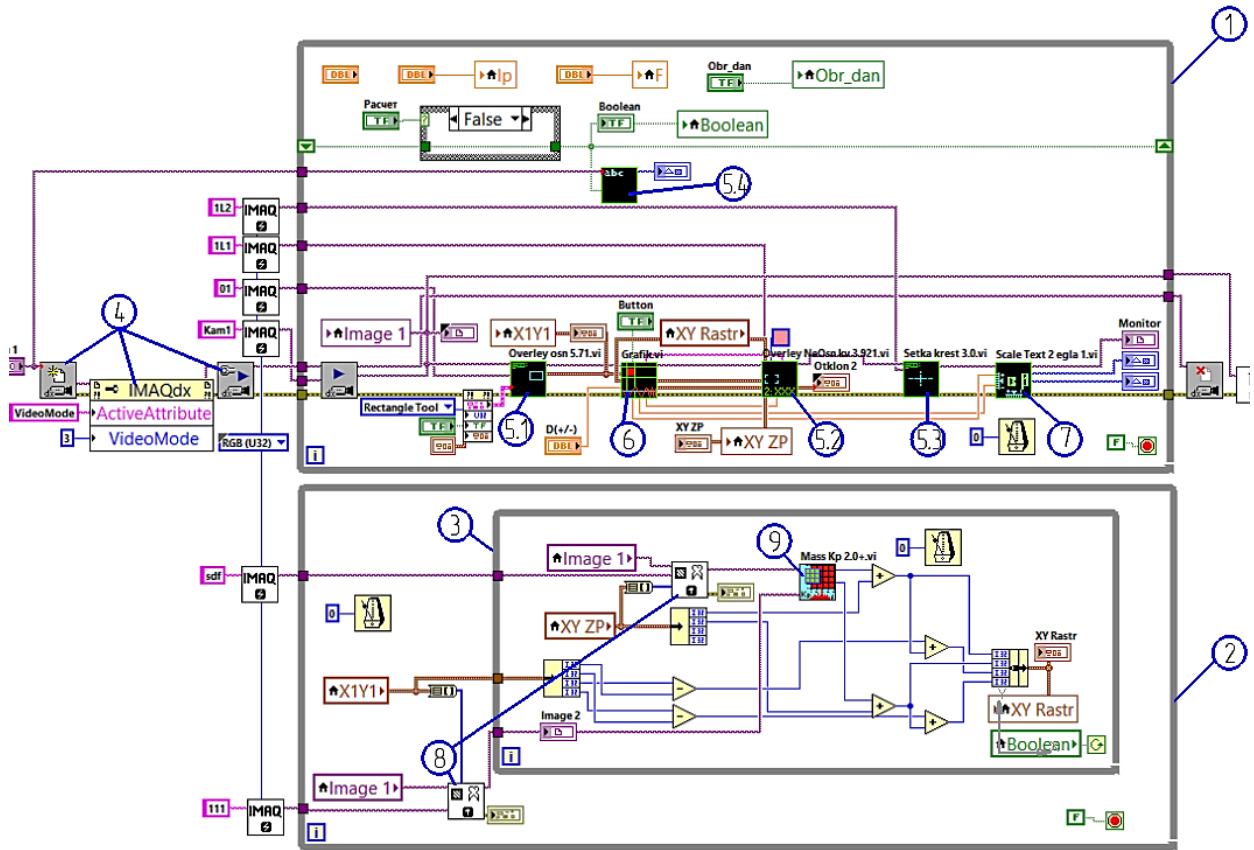


Рис. 4. Блок-диаграмма измерительного приложения в среде графического программирования LabVIEW



Рис. 5. Экспериментальная проверка программы измерения угловых отклонений стабилизатора вооружения и её интерфейс

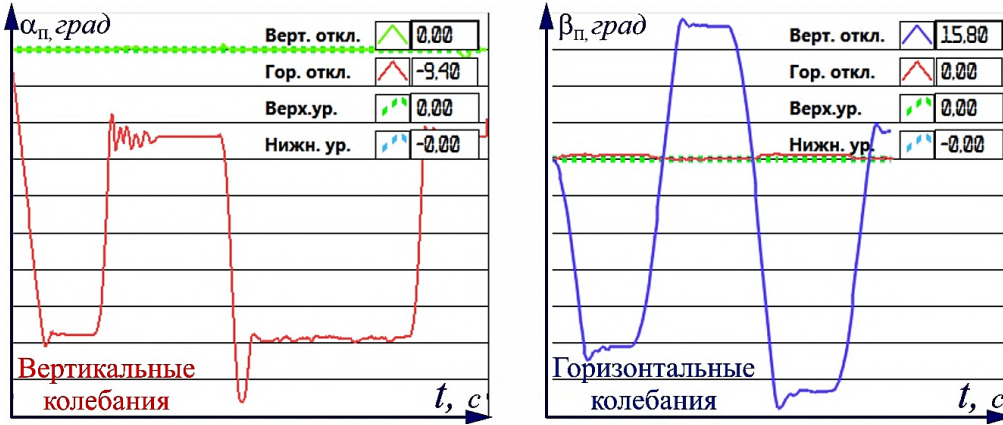


Рис. 6. Переходные характеристики

— производит анализ переходных процессов и вырабатывает воздействие на электронные сопротивления, шунтирующие потенциометры изменения коэффициентов усиления в обратных связях стабилизатора горизонтального и вертикального наведения.

При этом преобразование смещений изображения объекта в пиксельной системе координат в значения углов отклонения орудия и башни в метрической системе координат осуществляется по выражениям [7, с. 74 – 80; 8, с. 34 – 42], приведенным ниже.

Для измерительного щита:

$$\alpha_{\text{п}} \cong \arctg \left(\frac{A_{K1}^{kor(1)} A_{K1}^{kor(2)} + A_{K0}^{kor(1)} A_{K1}^{kor(2)}}{A_{K1}^{kor(2)} A_{K1}^{kor(2)} - A_{K1}^{kor(1)} A_{K0}^{kor(1)}} \right) - \arcsin \frac{R_{\text{п}} \sin \left(\arctg \left[\frac{A_{K1}^{kor(1)} A_{K1}^{kor(2)} + A_{K0}^{kor(1)} A_{K1}^{kor(2)}}{A_{K1}^{kor(2)} A_{K1}^{kor(2)} - A_{K1}^{kor(1)} A_{K0}^{kor(1)}} \right] \right)}{R_{\text{п}} + D}; \quad (1)$$

$$\beta_{\text{п}} \cong \arctg \left(\frac{A_{K1}^{kor(0)} A_{K1}^{kor(2)} + A_{K0}^{kor(0)} A_{K1}^{kor(2)}}{A_{K1}^{kor(2)} A_{K1}^{kor(2)} - A_{K1}^{kor(0)} A_{K0}^{kor(0)}} \right) - \arcsin \frac{R_{\text{б}} \sin \left(\arctg \left[\frac{A_{K1}^{kor(0)} A_{K1}^{kor(2)} + A_{K0}^{kor(0)} A_{K1}^{kor(2)}}{A_{K1}^{kor(2)} A_{K1}^{kor(2)} - A_{K1}^{kor(0)} A_{K0}^{kor(0)}} \right] \right)}{R_{\text{б}} + D}, \quad (2)$$

где D — расстояние до измерительного щита; $\alpha_{\text{п}}, \beta_{\text{п}}$ — углы отклонения соответственно пушки и башни при выверке по щиту; $R_{\text{б}}$ — расстояние от дульного среза орудия до центра вращения башни; $R_{\text{п}}$ — расстояние от цапф орудия до дульного среза; $A_{K0}^{kor(0)}, A_{K0}^{kor(1)}$ — значения первого и второго столбцов матрицы $A_{K0}^{kor} = \begin{pmatrix} x_{\text{ц100}}^{kor} & y_{\text{ц100}}^{kor} & f & 1 \end{pmatrix}$, содержащей слева направо скорректированные на величины дисторсии горизонтальную, вертикальную и продольную начальные координаты изображения опорной точки (координаты изображения центра измерительного щита, удаленной точки) в системе координат видеокамеры, где f — фокусное расстояние объектива камеры; $A_{K1}^{kor(0)}, A_{K1}^{kor(2)}$ — значения первого и третьего столбцов матрицы $A_{K1}^{kor} = \begin{pmatrix} x_{\text{ц10}}^{kor} & y_{\text{ц10}}^{kor} & f & 1 \end{pmatrix}$, содержащей, в свою очередь, соответствующие текущие скорректированные координаты опорной точки в кадре видеокамеры, снимаемые в процессе измерений.

Для удаленного объекта:

$$\alpha_{\text{п}\infty} \approx \arctg \left(\frac{A_{K1}^{kor(1)} A_{K1}^{kor(2)} + A_{K0}^{kor(1)} A_{K1}^{kor(2)}}{A_{K1}^{kor(2)} A_{K1}^{kor(2)} - A_{K1}^{kor(1)} A_{K0}^{kor(1)}} \right); \quad (3)$$

$$\beta_{\text{п}\infty} \approx \arctg \left(\frac{A_{K1}^{kor(0)} A_{K1}^{kor(2)} + A_{K0}^{kor(0)} A_{K1}^{kor(2)}}{A_{K1}^{kor(2)} A_{K1}^{kor(2)} - A_{K1}^{kor(0)} A_{K0}^{kor(0)}} \right), \quad (4)$$

где $\alpha_{\text{п}\infty}, \beta_{\text{п}\infty}$ — углы отклонения соответственно пушки и башни при выверке по удаленной точке.

Модуль управляющих воздействий вырабатывает управляющие ступенчатые воздействия, которые после обработки в модуле вычислений отклонений изменяют значения электронных сопротивлений.

На рис. 4 показана реализация измерительного приложения в виде блок-диаграммы разработанной «Программы измерения угловых отклонений стабилизатора танкового вооружения» с реализацией на языке G в среде графического программирования LabVIEW с библиотекой компонент обработки и анализа изображений IMAQ Vision.

Программа реализована на трех циклах по условию (While) (позиции 1, 2 и 3), аналогичных циклу While, используемому в текстовом языке программирования Си, выполняющих многократное повторение операции над потоком данных, пока не выполнится логическое условие выхода. Особенностью цикла 3 является то, что он запускается после подачи на его терминал условия TRU, он начинает выполняться и будет находиться в таком состоянии до подачи на терминал условия FALSE. За выработку данных условий отвечает форма «ЗАХВАТ ИЗОБРАЖЕНИЯ» на лицевой панели программы.

Виртуальные приборы 4 реализуют функцию инициализации камеры и задание условий её работы. Виртуальные приборы 5.1-5.3 реализуют функцию модуля оверлейных маркеров. Виртуальный прибор 5.4 реализуют функцию модуля вычисления отклонений. Виртуальный прибор 7 отвечает за формирование области поиска. Кроме того, в виртуальные прибор 7 интегрирована функция IMAQ ShapeMatchTool [6, с. 32], выполняющая поиск геометрических примитивов с выводом координат центров маркеров.

При запуске цикла 3 осуществляется кадрирование (виртуальные приборы 8), сканирование изображения, вычисление двумерной корреляционной функции и поиск её максимума с переводом максимума в смещение изображения найденного объекта относительно центра изображения. Т. е.

реализуются функции модуля автоматического слежения.

Испытание разработанной программы было проведено в ходе проверки демпфирования СТВ танка Т-72Б (рис. 5). При проведении испытаний измерение показателей демпфирования проводилось по удаленной точке. В качестве цифровой камеры использовалась камера GoPro с широкоугольным объективом, закрепленная с помощью специального хомута на срезе канала ствола танковой пушки. Видеоизображения с камеры передавались в ЭВМ по Wi-Fi каналу в режиме реального времени, ЭВМ при этом находилась у оператора боевой машины, который и осуществлял воздействия на органы управления танка с целью выхода на перебросочные скорости вооружения в двух плоскостях. В результате обработки изображений с видеокamеры были получены переходные характеристики (рис. 6), позволяющие определить степень демпфирования, а именно количество перебегов, величину первого перебега и перерегулирование в вертикальной и горизонтальной плоскостях.

Полученные переходные характеристики полностью подтвердили работоспособность разработанной программы для ЭВМ, практическую реализуемость предлагаемого способа автоматической коррекции демпфирования приводов наведения стабилизатора вооружения и справедливость принятых теоретических положений при его разработке. Это, в свою очередь, обуславливает возможность применения данного способа при проектировании системы автоматического диагностирования в составе перспективной информационно-управляющей системы управления огнем модернизируемых или вновь создаваемых образцов вооружения.

Библиографический список

1. Кисмерешкин, В. П. Диагностика стабилизатора танкового вооружения / В. П. Кисмерешкин, В. А. Майстренко, А. Б. Мусин // Совершенствование систем эксплуатации вооружения, военной и специальной техники : материалы II Межвуз. науч.-практ. конф. — Омск : ОАБИИ, 2015. — С. 176—180.

2. Пивоваров, В. П. Оптико-электронный комплекс диагностирования стабилизаторов танкового вооружения / В. П. Пивоваров, С. А. Тишин, О. О. Соломин, А. А. Поречин // Совершенствование систем эксплуатации вооружения, военной и специальной техники : материалы II Межвуз. науч.-практ. конф. — Омск : ОАБИИ, 2015. — С. 214—224.

3. Кисмерешкин, В. П. Диагностика стабилизаторов танкового вооружения / В. П. Кисмерешкин, В. А. Майстренко, В. П. Пивоваров // Национальные приоритеты России. Наука и военная безопасность : науч.-практ. журн. — 2015. — № 1 (1). — С. 44—46.

4. Рынок микроэлектроники, DS1869-010 Dallastat™ - 3 В, электронный реостат с цифровым управлением. — Режим доступа : http://catalog.gaw.ru/index.php?page=component_detail&id=29041 (дата обращения: 29.09.2016).

5. Гонсалес, Р. Цифровая обработка изображений / Р. Гонсалес, Р. Вудс. — М. : Техносфера, 2005. — 1072 с.

6. Обработка и анализ цифровых изображений с примерами на LabVIEW IMAQ Vision / Ю. В. Визильтер [и др.]. — М. : ДМК Пресс, 2007. — 464 с.

7. Зубарь, А. В. Математическое обеспечение процесса определения параметров демпфирования приводов наведения стабилизатора танкового вооружения / А. В. Зубарь, В. П. Пивоваров, Э. А. Гейнце // Вестник Академии военных наук : воен.-науч. журн. — 2016. — № 3 (56). — С. 74—80.

8. Зубарь, А. В. Автоматизация процесса определения параметров демпфирования стабилизатора вооружения / А. В. Зубарь, В. П. Пивоваров, А. В. Ковалев [и др.] // Национальные приоритеты России. Наука и военная безопасность : науч.-практ. журн. — 2016. — № 2 (5). — С. 34—42.

ЗУБАРЬ Алексей Владимирович, кандидат технических наук, старший преподаватель кафедры электрооборудования и автоматики.

ГЕЙНЦЕ Эдуард Александрович, адъюнкт кафедры электрооборудования и автоматики.

ПИВОВАРОВ Владимир Петрович, кандидат технических наук, начальник кафедры электрооборудования и автоматики.

Адрес для переписки: alexey_zubar@mail.ru

Статья поступила в редакцию 11.10.2016 г.

© А. В. Зубарь, Э. А. Гейнце, В. П. Пивоваров

Книжная полка

Винокуров, Б. Метрология и измерительная техника. Уровнеметрия жидких средств : учеб. пособие / Б. Винокуров. — М. : Юрайт, 2016. — 188 с. — ISBN978-5-9916-7230-6.

Серия «Университеты России» позволит высшим учебным заведениям нашей страны использовать в образовательном процессе учебники и учебные пособия по различным дисциплинам, подготовленные преподавателями лучших университетов России и впервые опубликованные в издательствах университетов. Все представленные в этой серии учебники прошли экспертную оценку учебно-методического отдела издательства и публикуются в оригинальной редакции. В пособии рассмотрены современные представления об уровнеметрии жидких сред. Излагаются физические основы построения приборов измерения и контроля уровня. Наряду с техническими характеристиками приборов и устройств указывается предпочтительная область их применения. Для студентов, обучающихся по направлению 200100 «Приборостроение» и специальности 200106 «Информационно-измерительная техника и технологии». Материал может быть полезен также инженерно-техническим работникам, занимающимся выбором и эксплуатацией соответствующих приборов и устройств.