

СОДЕРЖАНИЕ

ИНФОРМАЦИОННЫЕ ТЕХНОЛОГИИ И СИСТЕМЫ

- Щеглов К. А., Щеглов А. Ю. Задачи и методы резервирования в области информационной безопасности..... 507
- Паршуткин А. В., Левин Д. В., Лоскутов А. И., Дуников А. С. Использование метода селекции целей при работе многопозиционных информационно-измерительных систем 515
- Рубина И. С. Метод сжатия видеопоследовательностей на основе внутрикадрового предсказания яркости пикселей..... 520
- Пенской А. В. Архитектурное документирование встроенных систем с многоуровневой конфигурацией 527
- Парамонов И. Ю., Смагин В. А. Исследование работоспособности однородной информационной сети с учетом факторов риска 533

ОПТИЧЕСКИЕ И ОПТИКО-ЭЛЕКТРОННЫЕ ПРИБОРЫ И СИСТЕМЫ

- Ершов А. Г. Автоколлимационный способ измерения фокусного расстояния объектива 537
- Гузевич С. Н. О стереоскопическом методе измерений 543
- Ишанин Г. Г., Фастова Н. И. Образцовые излучатели для паспортизации сенсоров 550
- Зверева Е. Н., Лебедько Е. Г. Анализ точности определения временного положения сигнала для систем с многоэлементными фотоприемниками..... 555
- Косяков И. О., Липская М. А., Мекебаева А. К., Матаева А. Б. Возможность увеличения срока службы волоконно-оптических линий связи 561

ТЕПЛОВЫЕ РЕЖИМЫ И НАДЕЖНОСТЬ ПРИБОРОВ И СИСТЕМ

- Гусаков А. А. Совместное использование PIV-технологии и градиентной теплотометрии 565
- Михеев В. А., Сулаберидзе В. Ш., Мушенко В. Д. Исследование теплопроводности композиционных материалов на основе силикона с наполнителями..... 571
- Кришук В. Н., Шило Г. Н., Лопатка Ю. А., Гапоненко Н. П. Оптимизация размещения печатных плат при тепловом проектировании герметичных блоков 576

КРАТКИЕ СООБЩЕНИЯ

- Ластовская Е. А., Горбунова Е. В., Коротаев В. В., Гайковая Л. Б. Спектрофотометрическая установка для неинвазивного анализа уровня глюкозы в крови 581

CONTENTS

INFORMATION TECHNOLOGIES AND SYSTEMS

- Shcheglov K. A., Shcheglov A. Yu.** Problems and Methods of Reservation in Information Security 507
- Parshutkin A. V., Levin D. V., Loskutov A. I., Dunikov A. S.** Application of a Target Selection Method in Operation of Multiposition Information and Measuring System 515
- Rubina I. S.** Algorithm of Video Series Compression Based on Intra-Frame Prediction of Pixel Brightness.... 520
- Penskoi A. V.** Architectural Specification of Embedded Systems with Multi-Level Configuration 527
- Paramonov I. Yu., Smagin V. A.** Analysis of a Homogeneous Information Network Efficiency with Due Regard for Risk Factors..... 533

OPTICAL AND OPTO-ELECTRONIC INSTRUMENTS AND SYSTEMS

- Ershov A. G.** Autocollimation Method for Measuring the Focal Distance of a Lens 537
- Guzevich S. N.** On Stereoscopic Measurement Method 543
- Ishanin G. G., Fastova N. I.** Standard Emitters for Certification of Sensors 550
- Zvereva E. N., Lebedko E. G.** Analysis of Accuracy of Signal Time Positioning for Systems with Multi-Element Photodetectors 555
- Kosyakov I. O., Lipskaya M. A., Mekebaeva A. K., Mataeva A. B.** Possibility to Extend Life Cycle of Fiber Optic Communication Line 561

HEAT REGIMES AND RELIABILITY OF INSTRUMENTS AND SYSTEMS

- Gusakov A. A.** Combined Application of PIV-Technology and Gradient Heat Flux Measurement..... 565
- Mikheev V. A., Sulaberidze V. Sh., Mushenko V. D.** Investigation of Thermal Conductivity of Silicone Based Composite Materials with Fillers..... 571
- Krishchuk V. N., Shilo G. N., Lopatka Yu. A., Gaponenko N. P.** Placement Optimization of Printed Circuit Boards in Thermal Design of Hermetically Sealed Unit 576

BRIEF NOTES

- Lastovskaya E. A., Gorbunova E. V., Korotaev V. V., Gaykovaya L. B.** Spectrophotometric Setup for Non-Invasive Measuring the Blood Glucose Level..... 581

Editor-in-Chief E. B. Yakovlev

ЗАДАЧИ И МЕТОДЫ РЕЗЕРВИРОВАНИЯ В ОБЛАСТИ ИНФОРМАЦИОННОЙ БЕЗОПАСНОСТИ

К. А. ЩЕГЛОВ, А. Ю. ЩЕГЛОВ

*Университет ИТМО, 197101, Санкт-Петербург, Россия
E-mail: info@npp-itb.spb.ru*

Исследованы задачи и возможности применения методов резервирования в области информационной безопасности. Введено понятие резервирования элементов информационной системы по угрозам атак. Выявлены фундаментальные противоречия методов резервирования, ограничивающие возможность их эффективного практического использования при решении задачи защиты информации в комплексе — защиты от нарушения конфиденциальности, доступности и целостности информации. Предложен метод резервирования элементов информационных систем с разделением процедуры обработки информации между элементами системы.

Ключевые слова: резервирование, надежность, информационная безопасность, доступность информации, конфиденциальность информации, отказоустойчивость, угроза атаки.

Введение. В работе [1] были введены базовые модели информационной безопасности, определяемые в терминах теории надежности, исследованы вопросы резервирования по угрозам уязвимости и по угрозам атак, вопросы проектирования систем защиты и их резервирования.

Резервирование является одним из эффективных способов повышения надежности функционирования информационной системы, при этом резервируются наиболее критичные к отказу элементы системы — как правило, серверы, на которых обрабатываются и хранятся данные [2—4].

Однако в современных условиях информационные системы, требующие резервирования элементов, т.е. критичные к нарушению характеристик надежности функционирования, подвержены угрозам атак реализации несанкционированного доступа, т.е. критичны и к нарушению характеристик информационной безопасности. Рассмотрим возможности применения известных методов резервирования элементов информационной системы применительно к решению задачи повышения уровня ее информационной безопасности. С учетом же того, что для современных информационных систем данные характеристики (надежности и информационной безопасности) одинаково важны, исследуем возможность комплексного решения задачи резервирования с использованием одних и тех же резервирующих средств в целях повышения уровня интегрированной информационно-эксплуатационной безопасности информационных систем (для повышения как уровня надежности, так и уровня информационной безопасности в комплексе).

При этом напомним [1] основные отличия в постановке данных задач резервирования. При резервировании, реализуемом в целях повышения надежности функционирования информационной системы, подразумевается, что исследуемыми событиями выступают отказы,

влияющие лишь на одну характеристику безопасности — надежность функционирования системы, при этом отказы зарезервированных элементов в общем случае (различные техногенные события не рассматриваются) можно интерпретировать как независимые события. В области информационной безопасности это не так.

1. Исследуемым событием безопасности является угроза атаки [1], при этом атаки, в отличие от отказа, не могут рассматриваться как независимые события, поскольку атака представляет собой некое случайное, а осознанное деструктивное воздействие на информационную систему, реализуемое злоумышленником с целью несанкционированного доступа к обрабатываемой в системе информации. Естественно, что если злоумышленник совершил успешную атаку на элемент информационной системы, то в первую очередь он попытается совершить аналогичную апробированную им атаку на резервирующий элемент. Таким образом, деструктивные воздействия на зарезервированные элементы следует рассматривать как зависимые события.

2. Информационная безопасность имеет несколько ключевых характеристик, сопоставимо важных при решении задач повышения уровня информационной безопасности систем. К этим характеристикам относятся: защита от нарушения конфиденциальности информации (защита от ее хищения), защита от нарушения целостности информации (защита от ее несанкционированной модификации), защита от нарушения доступности информации [5]. В общем случае при реализации защиты информационной системы данные задачи защиты должны решаться в комплексе.

Задача резервирования элементов системы, решаемая в целях повышения надежности функционирования информационной системы. Данная задача решается за счет резервирования наиболее критичных к отказам элементов (как правило, серверов). Резервирующие элементы при этом в простейшем случае включаются по схеме параллельного резерва, в результате чего повышается вероятность того, что информационная система готова к эксплуатации ($P_{г.э}$). Вероятность $P_{г.э}$ определяется в предположении, что в системе используется V элементов с номерами $v=1, \dots, V$ ($V-1$ из которых являются резервирующими элементами) при вероятности ($P_{г.э,v}$) готовности v -го элемента к эксплуатации (отказы коммутирующих элементов для простоты не рассматриваются):

$$P_{г.э} = 1 - \prod_{v=1}^V (1 - P_{г.э,v}).$$

Подобный эффект достигается благодаря тому, что при отказе одного из зарезервированных элементов информационная система продолжает функционировать. Для решения задачи оптимального резервирования ресурсов исследуются способы включения и использования в системе дополнительных элементов [3, 4].

В качестве резервирующих элементов могут применяться как полностью одинаковые, так и различные технические средства. Это обуславливается тем, что в общем случае отказы резервируемого и резервирующих элементов можно рассматривать как независимые события. Важным здесь является исключительно влияние характеристики $P_{г.э,v}$ резервирующего элемента на характеристику $P_{г.э}$ информационной системы в целом.

Задачи резервирования элементов системы, решаемые в целях повышения уровня информационной безопасности системы. Как было отмечено ранее, информационная безопасность имеет несколько ключевых характеристик, здесь достаточно рассмотреть две из них — защиту от нарушения доступности информации и защиту от нарушения конфиденциальности информации.

Поскольку задачу повышения надежности функционирования информационной системы отчасти можно рассматривать в контексте обеспечения доступности информации (правда, отказ этой характеристики информационной безопасности в данном случае обуславливается не отказом оборудования, а реализацией успешной атаки, направленной на уничтожение

обрабатываемой в системе информации либо иных ресурсов, приводящих к невозможности получения доступа к информации), исследование вопросов резервирования элементов информационной системы начнем с **задачи защиты от нарушения доступности обрабатываемой в системе информации**.

Повышение уровня защиты от нарушения доступности информации посредством резервирования возможно и достигается при использовании взаимонезависимых в отношении угроз атак элементов, т.е. при применении различных технических средств. Под различными будем понимать технические средства, для которых угрозы атак различны.

Обоснуем данное утверждение. Пусть каждый из V элементов, с номерами $v=1, \dots, V$, может быть представлен соответствующей характеристикой — вероятностью того, что информационная система готова к безопасной эксплуатации в отношении потенциально возможных атак, образующих угрозу безопасности элемента системы ($P_{0y.v}$) [1].

В случае если все угрозы атак для всех V элементов различны, то вероятность того, что информационная система готова к безопасной эксплуатации в отношении потенциально возможных атак, может быть определена следующим образом:

$$P_{0y.vV} = 1 - \prod_{v=1}^V (1 - P_{0y.v}).$$

В случае если для повышения уровня защиты от нарушения доступности информации в качестве зарезервированных элементов применяются одинаковые технические средства, то резервирование элементов не реализуется. Под одинаковыми будем понимать технические средства, для которых угрозы атак одинаковы.

Докажем это положение. В случае если все угрозы атак для всех V элементов системы одинаковы, то вероятность $P_{0y.vV}$ с учетом того, что $P_{0y.v=1} = P_{0y.v=2} = \dots = P_{0y.v=V}$, может быть определена как

$$P_{0y.vV} = P_{0y.v}.$$

Следствие. Резервирование элементов информационной системы применительно к задаче повышения уровня информационной безопасности можно представить соответствующей схемой резервирования в отношении угроз атак; при этом можно говорить о том, что задача резервирования элементов информационной системы сводится к задаче резервирования по угрозам атак [1].

Рассмотрим модель резервирования по угрозам атак. Если угрозы атак для всех элементов системы уникальны и характеризуются вероятностью P_{0yr} , $r=1, \dots, R$ (для соответствующих R зарезервированных элементов), того, что информационная система готова к безопасной эксплуатации в отношении потенциально возможной атаки, то для реализации успешной атаки на систему в целом должна быть осуществлена успешная атака на каждый из зарезервированных элементов. В результате модель резервирования может быть представлена в виде орграфа (рис. 1, а), взвешенными вершинами которого являются вершины угроз атак на зарезервированные элементы, и соответствующей ему схемы параллельного резервирования (рис. 1, б).

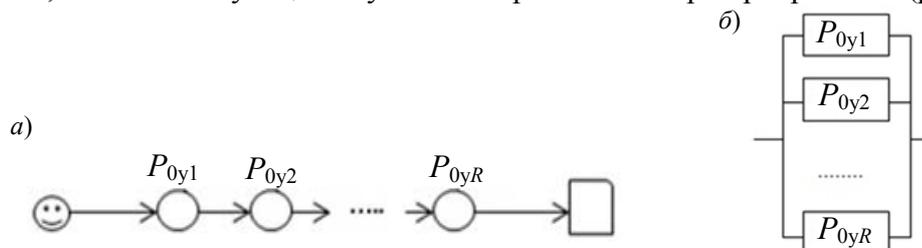


Рис. 1

Обозначим характеристику некой произвольной угрозы атаки как P_{0y} (пусть рассматривается угроза подобной атаки на элемент системы $v=1$), для остальных элементов системы

$v=2, \dots, V$ соответствующую характеристику обозначим, как и прежде, — $P_{0y.эv}$; тогда соответствующая характеристика зарезервированной информационной системы может быть представлена следующим образом:

$$P_{0y.эV} = 1 - (1 - P_{0y}) \prod_{v=2}^V (1 - P_{0y.эv}).$$

Если одна и та же угроза атаки с характеристикой P_{0y} одинакова, например, для элементов $v=1, v=2, v=3$ из V зарезервированных элементов, то получаем

$$P_{0y.эV} = 1 - (1 - P_{0y}) \prod_{v=4}^V (1 - P_{0y.эv}).$$

В предельном случае — если угроза атаки одинакова для всех зарезервированных элементов V , то

$$P_{0y.эV} = P_{0y},$$

т.е. применительно к подобной угрозе атаки задача резервирования не решается.

Следствия.

1. Задача резервирования элементов системы, применительно к решению задач повышения уровня ее информационной безопасности для защиты от нарушения доступности информации, сводится к задаче резервирования угроз атак на элемент информационной системы.

2. При полном совпадении резервируемого и резервирующего элементов информационной системы задача резервирования элементов не решается, поскольку в данном случае не реализуется резервирование по угрозам атак.

Приведенные соображения позволяют ввести понятие и количественную оценку актуальности угрозы атаки [1], но уже на зарезервированную информационную систему. Под количественной оценкой актуальности угрозы атаки на зарезервированную информационную систему будем понимать вероятность готовности системы к безопасной эксплуатации в отношении этой атаки — $P_{0y.эv}$. Естественно, что к наиболее актуальным в общем случае относятся угрозы атак, актуальные и для резервируемого, и для резервирующих элементов информационной системы. Именно в отношении подобных угроз атак при резервировании элементов в первую очередь потребуется применить средства защиты, направленные на повышение значения характеристики $P_{0y.эv}$ [1].

Задача защиты от нарушения доступности информации, которое может быть вызвано как отказом элемента системы, так и реализацией атаки на этот элемент злоумышленником, может решаться в комплексе. При этом, с точки зрения повышения надежности информационной системы, проектирование зарезервированной системы должно проводиться с учетом требований к максимальному различию резервируемого и резервирующих элементов с целью выполнения требования к уникальности угроз атак на эти элементы системы. Как следствие, задача повышения уровня интегрированной информационно-эксплуатационной безопасности информационной системы предполагает вполне определенную постановку задачи повышения ее надежности (отказоустойчивости) посредством резервирования элементов системы.

Обратимся теперь к другой характеристике информационной безопасности — **защите от нарушения конфиденциальности информации, обрабатываемой в системе.**

Конфиденциальность информации может быть нарушена в результате реализации злоумышленником атаки на информационную систему, но уже с целью хищения обрабатываемой в ней информации.

Применительно к данной задаче защиты резервирование элементов информационной системы опять же можно представить в виде орграфа и соответствующей ему схемы резервирования, в данном случае последовательного резервирования, в отношении угроз атак [1].

Рассмотрим модель резервирования по угрозам атак при решении данной задачи. Если угрозы атак для всех зарезервированных элементов системы уникальны и характеризуются

известной (введенной ранее) вероятностью P_{0y_r} , $r=1, \dots, R$, то в этом случае при осуществлении успешной атаки на любой из зарезервированных элементов обрабатываемая информация будет похищена. В результате формируется орграф и соответствующая ему схема последовательного резервирования (рис. 2, а, б).

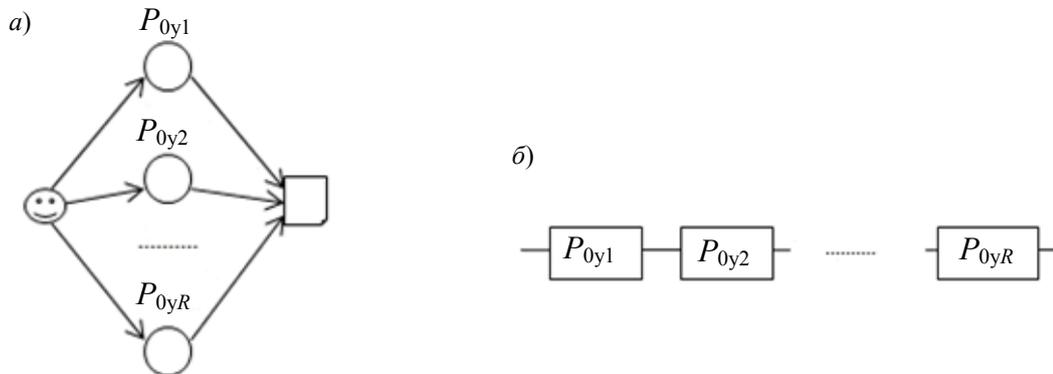


Рис. 2

Повышение уровня защиты от нарушения конфиденциальности информации посредством резервирования принципиально невозможно, поскольку в данном случае невозможно резервирование по угрозам атак.

Обоснуем данное утверждение. Пусть каждый из V зарезервированных элементов, с номерами $v=1, \dots, V$, может быть представлен соответствующим орграфом угроз атак и соответствующей характеристикой — вероятностью $P_{0y_{\text{э}v}}$.

В случае если все угрозы атак для V элементов системы одинаковы (не зарезервированы), при этом для хищения информации достаточно осуществить успешную атаку на любой из V зарезервированных элементов, то вероятность $P_{0y_{\text{э}V}}$ с учетом того, что $P_{0y_{\text{э}v=1}} = P_{0y_{\text{э}v=2}} = \dots = P_{0y_{\text{э}v=V}}$, определяется (как и в предыдущем случае) следующим образом:

$$P_{0y_{\text{э}V}} = P_{0y_{\text{э}v}} \tag{1}$$

В случае если все угрозы атак для V элементов системы различны (зарезервированы), при этом для хищения информации достаточно осуществить успешную атаку на любой из V зарезервированных элементов, то

$$P_{0y_{\text{э}V}} = \prod_{v=1}^V P_{0y_{\text{э}v}} \tag{2}$$

Решение задачи повышения уровня безопасности информационной системы для защиты от нарушения доступности информации посредством резервирования приводит к снижению уровня безопасности системы при защите от нарушения конфиденциальности информации.

Как отмечалось ранее, повышение уровня защиты от нарушения доступности информации посредством резервирования возможно и достигается только при максимальном различии резервирующих и резервируемого элементов по угрозам атак, но именно при этих условиях снижается уровень безопасности информационной системы для защиты от нарушения конфиденциальности информации.

Резюмируя вышеизложенное, можно сделать следующие выводы.

1. Применение методов резервирования для повышения уровня безопасности информационной системы связано с фундаментальным противоречием, состоящим в том, что задачи защиты от нарушения доступности информации и защиты от нарушения конфиденциальности информации не то что не могут решаться в комплексе, но и более того, улучшение одной из этих характеристик информационной безопасности в результате реализации резервирования по угрозам атак на элементы системы приводит к ухудшению другой характеристики, что недопустимо вследствие одинаковой важности данных характеристик для современных информационных

систем. В этом смысле известные методы резервирования не могут быть эффективно использованы в области информационной безопасности. Выявленные противоречия методов резервирования могут быть отнесены к фундаментальным, так как они не связаны с какими-либо характеристиками защищаемых информационных систем, используемым в них оборудованием, программными средствами и т.д. Данные противоречия обуславливаются собственно постановкой задачи резервирования элементов информационных систем в области информационной безопасности как задачи резервирования по угрозам атак на элементы систем.

2. Эффективное решение задачи повышения уровня интегрированной информационно-эксплуатационной безопасности информационных систем посредством резервирования возможно только при реализации защиты от нарушения доступности информации. В данном случае задача повышения безопасности решается резервированием угроз атак, однако при этом ухудшается важнейшая характеристика информационной безопасности системы — конфиденциальность обрабатываемой информации.

3. Поскольку в современных информационных системах задачи повышения эксплуатационной и информационной безопасности, и в частности задачи повышения уровня конфиденциальности и доступности информации, должны решаться в комплексе, а известные методы резервирования для этого не эффективны, необходима разработка новых, принципиально иных подходов к резервированию элементов информационных систем, позволяющих учесть выявленные фундаментальные противоречия существующих методов.

Метод резервирования с распределением информации между элементами системы. Как показало проведенное выше исследование, резервирование для решения задачи повышения уровня конфиденциальности обрабатываемой в системе информации не может использоваться. Поэтому рассмотрим данную задачу с позиций оценки риска потенциальных потерь [6]. Риск потенциальных потерь G_C применительно к угрозе безопасности информационной системы (характеристика $P_{0y.эV}$) в простейшем случае (без учета эксплуатационных характеристик системы [6, 7]) можно оценить как

$$G_C = C_{\text{инф}} (1 - P_{0y.эV}).$$

Характеристика потерь $C_{\text{инф}}$ зависит от объема похищенной информации, поэтому введем характеристику удельной стоимости $C_{\text{уд}}$ единицы информации. Исходя из того, что в системе обрабатывается N единиц информации, величину потерь, обуславливаемых хищением обрабатываемой информации, можно определить следующим образом:

$$C_{\text{инф}} = C_{\text{уд}} N.$$

С учетом подобной интерпретации задача повышения посредством резервирования элементов системы уровня ее эксплуатационной и информационной безопасности, применительно к защите от нарушения конфиденциальности информации, может рассматриваться как задача снижения потерь от реализации успешной атаки на элемент системы при распределении информации между зарезервированными элементами. Задача резервирования в данном случае предполагает разделение процедур хранения и обработки информации между V элементами; при равном распределении между V элементами объемов обрабатываемой информации каждый из них будет концентрировать информацию стоимостью $C_{\text{инф}V}$:

$$C_{\text{инф}V} = C_{\text{уд}} N / V.$$

Следовательно, реализация успешной атаки на один из зарезервированных элементов системы соответствует $C_{\text{инф}V}$, что снизит потери от успешной атаки в V раз.

Подобный метод резервирования назовем „методом резервирования с распределением обрабатываемой информации между элементами системы“.

Повышение уровня защиты от нарушения конфиденциальности информации с помощью данного метода резервирования возможно и достигается только в случае резервирования по угрозам атак.

Докажем это утверждение. В случае если все угрозы атак для V элементов системы одинаковы, т.е. на все V зарезервированных элементов может быть осуществлена одна и та же атака (резервирование по угрозам атак не реализовано), то риск потерь от реализации угрозы атаки на элемент системы (характеристика $P_{0y.эв}$) рассчитывается следующим образом:

$$G_C = C_{инф} (1 - P_{0y.эв}).$$

В случае же если все угрозы атак для V элементов различны (зарезервированы), т.е. одна и та же атака может быть осуществлена только на один из V зарезервированных элементов, тогда

$$G_C = C_{инф} (1 - P_{0y.эв}) / V.$$

Представленные выше формулы для рассмотренных альтернативных случаев доказывают, что повышение уровня защиты от нарушения конфиденциальности информации путем резервирования возможно и достигается только в случае, когда применяются взаимонезависимые в отношении угроз атак элементы, при этом одинаковые элементы не могут использоваться, посредством их резервирования, в целях повышения уровня защиты от нарушения конфиденциальности информации.

Применение предлагаемого метода (в случае реализации резервирования по угрозам атак), позволяющего снизить риск потенциальных потерь от осуществления успешной атаки на элемент системы (в V раз), приводит к увеличению риска частичных потерь информации, обрабатываемой в системе, т.е. потерь информации в объеме, обрабатываемом одним из зарезервированных элементов системы.

Обоснуем данное противоречие. Как было показано ранее, если все угрозы атак для V зарезервированных элементов системы различны (зарезервированы), то справедливо выражение (2); в случае же если все угрозы атак для V резервируемых элементов одинаковы (не зарезервированы), справедливо равенство (1). Однако в этом случае поскольку на все V зарезервированных элементов системы может быть осуществлена одна и та же успешная атака, уже следует говорить о риске хищения всей обрабатываемой в системе информации и о соответствующем для этого случая риске потерь.

Данное противоречие — снижение риска хищения информации, обрабатываемой в системе в полном объеме, при одновременном увеличении риска хищения информации в объеме, обрабатываемом одним из зарезервированных элементов системы, — можно признать принципиальным противоречием метода резервирования с распределением обрабатываемой информации между элементами системы. Это крайне важное противоречие обязательно должно учитываться при разработке требований к характеристикам и параметрам средств защиты информации [1], реализуемых (при необходимости) для резервируемых элементов информационной системы.

Предложенный метод резервирования позволяет повысить уровень информационной безопасности при реализации как защиты от нарушения доступности информации, так и защиты от нарушения ее конфиденциальности.

Заключение. Представленное исследование иллюстрирует фундаментальные противоречия и принципиальную невозможность решения задачи повышения уровня информационной безопасности информационной системы с использованием известных из теории надежности [2] методов резервирования при решении задачи защиты информации в комплексе — защиты от нарушения конфиденциальности, доступности и целостности информации. В качестве альтернативного решения предложен метод резервирования элементов информационных систем с распределением обрабатываемой информации между элементами системы.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Щеглов К. А., Щеглов А. Ю. Математические модели эксплуатационной информационной безопасности // Вопросы защиты информации. 2014. № 3, вып. 106. С. 52—65.
2. Половко А. М., Гуров С. В. Основы теории надежности. СПб: БХВ-Петербург, 2006.
3. Богатырев В. А. Надежность и эффективность резервированных компьютерных сетей // Информационные технологии. 2006. № 9. С. 25—30.
4. Богатырев В. А., Богатырев С. В., Богатырев А. В. Надежность кластерных вычислительных систем с дублированными связями серверов и устройств хранения // Информационные технологии. 2013. № 2. С. 27—32.
5. ГОСТ Р 53114-2008. Защита информации. Обеспечение информационной безопасности в организации. Введ. 18.12.2008. М.: Стандартинформ, 2009.
6. Щеглов К. А., Щеглов А. Ю. Эксплуатационные характеристики риска нарушений безопасности информационной системы // Научно-технический вестник информационных технологий, механики и оптики. 2014. № 1(89). С. 129—139.
7. Белов Е. Б., Лось В. П., Мещеряков Р. В., Шелупанов А. А. Основы информационной безопасности. М.: Горячая линия — Телеком, 2006.

Сведения об авторах**Константин Андреевич Щеглов**— аспирант; Университет ИТМО; кафедра вычислительной техники;
E-mail: info@npp-itb.spb.ru**Андрей Юрьевич Щеглов**

— д-р техн. наук, профессор; Университет ИТМО; кафедра вычислительной техники; E-mail: info@npp-itb.spb.ru

Рекомендована кафедрой
вычислительной техникиПоступила в редакцию
06.02.15 г.

Ссылка для цитирования: Щеглов К. А., Щеглов А. Ю. Задачи и методы резервирования в области информационной безопасности // Изв. вузов. Приборостроение. 2015. Т. 58, № 7. С. 507—514.

PROBLEMS AND METHODS OF RESERVATION IN INFORMATION SECURITY**K. A. Shcheglov, A. Yu. Shcheglov**

ITMO University, 197101, Saint Petersburg, Russia

E-mail: info@npp-itb.spb.ru

The problems and potentialities of reservation methods application in the field of informational security are considered. A concept of reservation of information system elements relative to threats of attack is introduced. Internal contradictions of reservation methods are revealed. The contradictions are shown to limit practical applicability of the methods to the complete problem of information protection, including confidentiality support, save access to the information, and data integrity. A method is proposed for reservation of information system elements with division of information processing procedure between the system elements.

Keywords: backup, reliability, information security, operational security, integrated security, information accessibility, confidential information, element resiliency, threat of attack.

Data on authors

Konstantin A. Shcheglov — Post-Graduate Student; ITMO University; Department of Computer Science, E-mail: info@npp-itb.spb.ru

Andrey Yu. Shcheglov — Dr. Sci., Professor; ITMO University; Department of Computer Science, E-mail: info@npp-itb.spb.ru

Reference for citation: Shcheglov K. A., Shcheglov A. Yu. Problems and methods of reservation in information security // Izvestiya Vysshikh Uchebnykh Zavedeniy. Priborostroyeniye. 2015. Vol. 58, N 7. P. 507—514 (in Russian).

DOI: 10.17586/0021-3454-2015-58-7-507-514

ИСПОЛЬЗОВАНИЕ МЕТОДА СЕЛЕКЦИИ ЦЕЛЕЙ ПРИ РАБОТЕ МНОГОПОЗИЦИОННЫХ ИНФОРМАЦИОННО-ИЗМЕРИТЕЛЬНЫХ СИСТЕМ

А. В. ПАРШУТКИН, Д. В. ЛЕВИН, А. И. ЛОСКУТОВ, А. С. ДУНИКОВ
Военно-космическая академия им. А. Ф. Можайского, 197198, Санкт-Петербург, Россия
E-mail: dm.sovetnik@yandex.ru

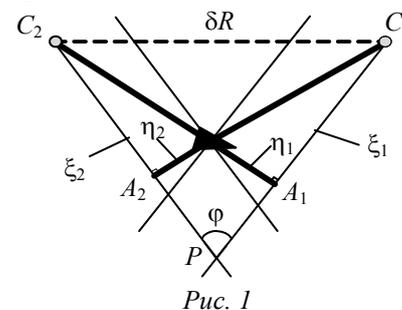
Предложен метод селекции целей при совместной обработке результатов единичных измерений, выполняемых территориально-разнесенными радиолокационными станциями. Показан основной эффект применения метода при работе многопозиционной радиолокационной системы обзора пространства.

Ключевые слова: совместная обработка информации, селекция целей, координаты цели.

Введение. В настоящее время для обнаружения и сопровождения целей создаются многопозиционные информационно-измерительные системы. Такие системы состоят из нескольких территориально-разнесенных независимо функционирующих локационных постов, объединенных в сеть, и единого центра обработки информации. В общем случае локационные посты могут быть оптическими, радиолокационными или гидроакустическими. Окончательное решение о параметрах наблюдаемых объектов формируется в центре обработки информации. При этом по каналам передачи информации между каждым локационным постом и центром обработки транслируются данные только о результатах проводимых измерений, а не локационные сигналы, принятые независимо функционирующими средствами [1].

В сложной помеховой обстановке, например при наличии средств ретрансляции сигналов в области обзора многопозиционной информационно-измерительной системы или в ситуациях многократного переотражения сигналов от групповых целей, в центре обработки информации могут формироваться ложные отметки [2, 3]. В настоящей статье предлагается метод селекции наблюдаемых территориально-разнесенными локационными средствами целей по показателю δR , который определяется как декартово расстояние между приведенными к единой системе координат и единому моменту времени результатами измерений координат цели, совместно или последовательно наблюдаемой двумя информационно-измерительными постами (ИИП).

Аналитическое описание показателя δR . Пусть в зоне обзора двухпозиционной информационно-измерительной системы обнаружена цель и некоторое количество ложных отметок. Наличие случайных и систематических погрешностей измерений [4], возникающих в каналах дальности (ξ_i) и угловых каналах (α_i) i -го, $i = 1, 2$, локационного средства (линейная погрешность измерения угловых координат $\eta_i \approx \text{tg } \alpha_i$), приводит к несовпадению результатов измерений (C_1 и C_2) координат одной и той же цели, наблюдаемой территориально-разнесенными (под углом φ) ИИП (рис. 1).



В одинаковых условиях наблюдения значение показателя δR для истинной (физически существующей) цели отличается от значения δR для мнимых целей, сформированных за счет переотражения зондирующих сигналов, поскольку в приемное

устройство измерительного средства такой сигнал поступает с некоторой задержкой. Полная ошибка несовпадения результатов измерений координат цели определяется как

$$\sigma_{\delta R}^2 = \sigma_{r_1}^2 + \sigma_{r_2}^2 + \sigma_{\alpha_1}^2 r_1^2 + \sigma_{\alpha_2}^2 r_2^2 + \Delta r_1^2 + \Delta r_2^2 - 2\Delta r_1 \Delta r_2 \cos \varphi,$$

где σ_{r_i} — СКО измерений в канале дальности i -го поста; σ_{α_i} — СКО измерений в угловом канале i -го поста; r_i — расстояние от i -го поста до цели; Δr_i — систематические погрешности измерений дальности от i -го поста до цели; приведенное аналитическое выражение сопоставимо с выражением, позволяющим оценить ошибку определения местоположения цели угловым способом [5].

Селекция целей по показателю δR . Особый интерес, с точки зрения обзора пространства, представляют многопозиционные радиолокационные системы, состоящие из нескольких территориально-разнесенных независимо функционирующих радиолокационных станций (РЛС). В этом случае для двух РЛС задается допустимое значение показателя δR для истинных целей.

Для выявления целей по показателю δR предложен метод обработки результатов измерений, выполненных на интервалах одновременного или последовательного наблюдения групповых радиолокационных целей. Предлагаемый метод реализуется в несколько этапов.

1-й этап. Формирование координат обнаруженных целей независимо функционирующими РЛС в режиме реального времени.

Выбор класса обнаруживаемых целей и синхронизация измерений, выполняемых разными РЛС, осуществляются следующим образом:

— для эталонной траектории движения целей задается закон построения аппроксимированных траекторий, используемый для расчета прогнозируемых координат целей на требуемый момент времени;

— единичные результаты измерений прогнозируемых координат целей формируются на заданный момент времени по заданному критерию „ m из n “ построения траектории целей каждой РЛС;

— сформированные в разных топоцентрических системах координат (ТСК) РЛС единичные данные измерений пересчитываются в единую систему координат (в общем случае — геоцентрическую) для совместной обработки.

2-й этап. Оценивание временного интервала радиолокационного наблюдения целей с учетом тактико-технических характеристик территориально-разнесенных РЛС:

— по поступающим от РЛС в центр обработки информации сообщениям о помеховой обстановке в районе размещения каждой РЛС выполняется проверка условия о совместном наблюдении одних и тех же целей несколькими РЛС;

— при выполнении условия совместного наблюдения одних и тех же целей двумя РЛС каждой из них производится расчет момента времени, для которого будут пересчитаны текущие координаты обнаруженных целей;

— при невыполнении условия совместного наблюдения одних и тех же целей двумя РЛС в центре обработки информации уточняется возможность выполнения данными РЛС последовательного радиолокационного наблюдения, т.е. оценивается временной интервал, когда измерения, выполняемые первой РЛС (в зоне ответственности которой цели наблюдались раньше), являются актуальными для проведения совместного анализа координатной информации, полученной второй РЛС (в зоне ответственности которой те же цели наблюдаются в другой момент времени).

3-й этап. Уточнение условий радиолокационного наблюдения и расчет адаптивного к изменению помеховой обстановки порога селекции (допустимого значения δR) истинных целей:

— каждой РЛС формируются среднее значение отношения мощности полезного сигнала к суммарной мощности помех на выходе приемного устройства РЛС в пределах одного цикла измерений, а также значения угловых координат целей относительно нормали к раскрыву антенны РЛС;

— в центре обработки информации на основе данных об условиях выполнения измерений уточняются оценки СКО измерения дальности и угловых координат, а также рассчитывается текущее значение показателя δR .

4-й этап. Определение порога селекции целей двумя РЛС:

— рассчитывается адаптивный порог селекции целей при заданной вероятности их правильного обнаружения по выбранному закону распределения случайной величины δR (по закону Рэлея);

— считывается показатель δR по синхронизированным результатам измерений координат целей, выполненных разными РЛС.

5-й этап. Принятие решения об истинности цели, наблюдаемой двумя РЛС, — формируется по условию неперевышения текущего значения δR относительно допустимого.

Представленный метод проиллюстрирован схемой, приведенной на рис. 2.



Рис. 2

Основным эффектом применения метода селекции целей по показателю δR является увеличение дальности обнаружения целей по сравнению с дальностью их обнаружения путем отождествления отметок, формируемых разными РЛС, по критерию „ m из n “. В зависимости от помеховой обстановки в районе размещения каждой РЛС увеличение дальности обнаружения целей составляет, согласно расчетам, порядка 30—36 %.

Для реализации предложенного метода селекции целей по показателю δR необходимо произвести совместную обработку результатов измерений координат цели, наблюдаемой несколькими территориально-разнесенными РЛС в зонах их совместной ответственности или на интервалах последовательного наблюдения.

Заключение. Предложен метод селекции целей, реализация которого при работе многопозиционных информационно-измерительных систем позволяет увеличить дальность обнаружения истинных целей. Результативность применения метода селекции целей зависит от тактико-технических характеристик каждого локационного средства, их взаимного расположения и условий, в которых выполняются измерения.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

8. Кондратьев В. С., Котов Л. Н., Марков Л. Н. Многопозиционные радиотехнические системы / Под ред. В. В. Цветнова. М.: Радио и связь, 1986. 264 с.
9. Фатеев В. Ф., Паришуткин А. В., Вознюк В. В., Святкин С. А., Зайцев С. А. Принципы построения системы ретрансляции сигналов радиолокационных станций на базе низкоорбитальных сверхмалых космических аппаратов // Изв. вузов. Приборостроение. 2007. Т. 50, № 6. С. 35—39.
10. Перунов Ю. М., Фомичев К. И., Юдин Л. М. Радиоэлектронное подавление информационных каналов систем управления оружием / Под ред. Ю. М. Перунова. М.: Радиотехника, 2003. 416 с.
11. Теоретические основы радиолокации: Учеб. пособие / А. А. Коростелев, Н. Ф. Клюев, Ю. А. Мельник; Под ред. В. Е. Дулевича. М.: Сов. радио, 1978. 608 с.
12. Сосулин Ю. Г. Теоретические основы радиолокации и радионавигации: Учеб. пособие. М.: Радио и связь, 1992. 304 с.

Сведения об авторах

- Андрей Викторович Паришуткин** — д-р техн. наук, доцент; ВКА им. А. Ф. Можайского, кафедра комплексов и средств информационной безопасности;
E-mail: andydc2010@yandex.ru
- Дмитрий Викторович Левин** — канд. техн. наук; ВКА им. А. Ф. Можайского, кафедра комплексов и средств информационной безопасности;
E-mail: dm.sovetnik@yandex.ru
- Андрей Иванович Лоскутов** — д-р техн. наук; ВКА им. А. Ф. Можайского, кафедра телеметрических систем и комплексов обработки информации;
E-mail: rujens@mail.ru
- Артем Сергеевич Дуников** — адъюнкт; ВКА им. А. Ф. Можайского, кафедра телеметрических систем и комплексов обработки информации;
E-mail: artem.sever1@yandex.ru

Рекомендована кафедрой
комплексов и средств
информационной безопасности

Поступила в редакцию
17.02.15 г.

Ссылка для цитирования: Паришуткин А. В., Левин Д. В., Лоскутов А. И., Дуников А. С. Использование метода селекции целей при работе многопозиционных информационно-измерительных систем // Изв. вузов. Приборостроение. 2015. Т. 58, № 7. С. 515—519.

**APPLICATION OF A TARGET SELECTION METHOD
IN OPERATION OF MULTIPOSITION INFORMATION AND MEASURING SYSTEM**

A. V. Parshutkin, D. V. Levin, A. I. Loskutov, A. S. Dunikov

*A. F. Mozhaisky Military Space Academy, 197198, Saint Petersburg, Russia
E-mail: dm.sovetnik@yandex.ru*

A method is proposed for target selection when combined processing of single measurements by territorially-separated radar stations is performed. The fundamental effect of the method applied to space survey by multiposition radar station is demonstrated.

Keywords: combined processing of measurement data, radar target selection, target coordinates.

Data on authors

Andrey V. Parshutkin — Dr. Sci., Associate Professor, A. F. Mozhaisky Military Space Academy, Department of Complexes and Means of Information Security;
E-mail: andydc2010@yandex.ru

- | | | |
|---------------------------|---|--|
| Dmitry V. Levin | — | PhD; A. F. Mozhaisky Military Space Academy, Department of Complexes and Means of Information Security;
E-mail: dm.sovetnik@yandex.ru |
| Andrey I. Loskutov | — | Dr. Sci.; A. F. Mozhaisky Military Space Academy, Department of Telemetric Systems and Information Processing Complexes;
E-mail: rujens@mail.ru |
| Artem S. Dunikov | — | Post-Graduate Student; A. F. Mozhaisky Military Space Academy, Department of Telemetric Systems and Information Processing Complexes; E-mail: artem.sever1@yandex.ru |

Reference for citation: *Parshutkin A. V., Levin D. V., Loskutov A. I., Dunikov A. S.* Application of a target selection method in operation of multiposition information and measuring system // *Izvestiya Vysshikh Uchebnykh Zavedeniy. Priborostroenie*. 2015. Vol. 58, N 7. P. 515—519 (in Russian).

DOI: 10.17586/0021-3454-2015-58-7-515-519

МЕТОД СЖАТИЯ ВИДЕОПОСЛЕДОВАТЕЛЬНОСТЕЙ НА ОСНОВЕ ВНУТРИКАДРОВОГО ПРЕДСКАЗАНИЯ ЯРКОСТИ ПИКСЕЛОВ

И. С. РУБИНА

*Университет ИТМО, 197101, Санкт-Петербург, Россия
E-mail: rubren@mail.ru*

Представлен анализ используемых в стандартах сжатия видеоданных H.265 и VP9 алгоритмов внутрикадрового предсказания яркости пикселей, исследованы особенности алгоритмов и выработаны рекомендации по их применению. Устранение информационной избыточности опорных кадров — одна из главных задач процесса видеокompрессии, а основой кодирования опорных кадров является построение прогноза для отдельных пикселей или их групп. Показано, что эффективность алгоритмов устранения информационной избыточности обеспечивается путем повышения эффективности алгоритмов внутрикадрового предсказания. Особое внимание уделено изучению таких показателей, как качество и степень сжатия видеоданных и вычислительная сложность процесса сжатия. Установлено, что повышение гибкости механизма выбора процедуры прогнозирования позволяет существенно уменьшить вычислительные затраты при сохранении качества работы алгоритма предсказания. Предложен адаптивный метод внутрикадрового предсказания, базирующийся на алгоритме предсказания, введенном стандартом H.265, и инвариантный к изменению свойств видеосцены за счет относительного снижения качества получаемого видеоряда. Для оценки разработанного метода использован ряд видеопоследовательностей из тестового набора JCT-VC для стандарта H.265.

Ключевые слова: сжатие видеоданных, HEVC, VP9, внутрикадровое предсказание, адаптивный режим.

Введение. Современный этап развития информационно-вычислительных систем характеризуется широким внедрением технологий мультимедиа, что обуславливает необходимость разработки методов и алгоритмов сжатия цифровых видеоизображений и видеопотоков. Такие алгоритмы основаны на обработке групп изображений, имеющих информационную избыточность [1, 2].

Первый кодек согласно стандарту нового поколения HEVC (High Efficiency VideoCoding) высокопроизводительного кодирования видеоданных [3] был представлен в феврале 2012 г. Тем не менее для широкого круга специалистов представляет интерес разработка эффективных алгоритмов в рамках различных этапов кодирования.

Существующие системы обработки видеоданных используют методы сжатия с потерями за счет передачи опорных (I) кадров, сжатых по пространственным координатам, а также ссылочных (P и B) кадров, сжатых по пространственно-временным координатам [4]. При этом учитываются особенности восприятия подобного типа данных человеком [5]. На сегодняшний день устранение информационной избыточности опорных кадров — одна из главных задач процесса видеокompрессии.

Основой кодирования опорных кадров является построение прогноза яркости для отдельных пикселей или их групп [6]. Проблеме обеспечения качества работы алгоритмов устранения информационной избыточности путем повышения эффективности алгоритмов внутрикадрового предсказания и посвящена настоящая статья.

Схемы алгоритмов. Схематичное представление существующих алгоритмов [7] внутрикадрового предсказания яркости пикселей приведено на рис. 1.

В частности, на рис. 1, а, б представлены режимы V_PRED и H_PRED, при реализации которых прогнозирование осуществляется дублированием значения соответствующей строки или столбца, а на рис. 1, в, г — режимы DC_PRED и TM_PRED кодека VP8 [8].

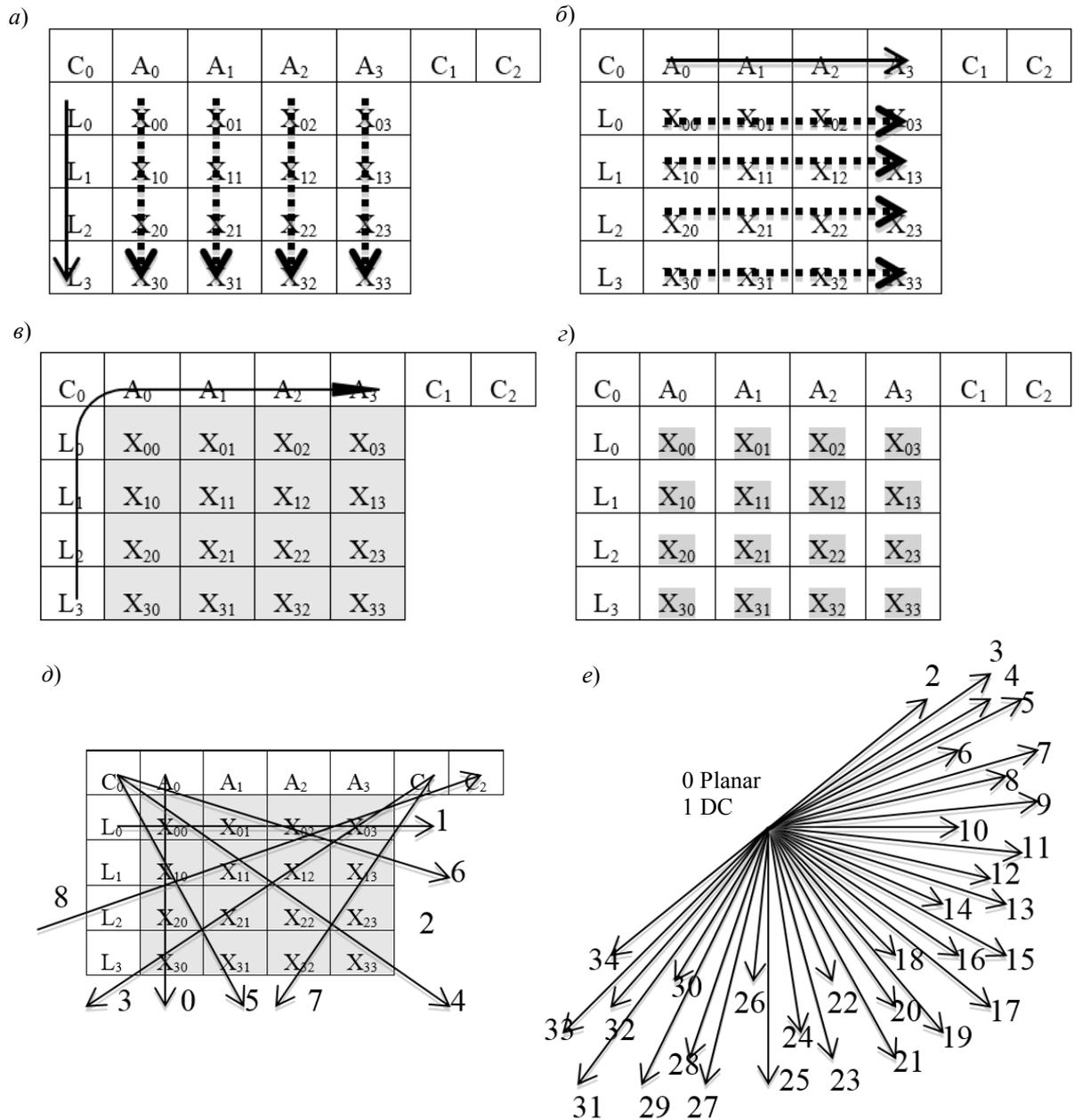


Рис. 1

В ходе предсказания по алгоритму DC_PRED прогнозируемое значение яркости каждого пиксела блока вычисляется как среднее арифметическое яркости пикселей, находящихся на границе (выше и левее) прогнозируемых семплов. В ходе обработки по алгоритму TM_PRED прогнозируемое значение яркости каждого из семплов вычисляется по формуле [1]

$$X_{i,j} = L_i + A_j - C, \tag{1}$$

где L_i , A_j и C — яркости семплов, расположенных по горизонтали и вертикали относительно текущего семпла и диагонали для блока, $i, j = 0, 1, \dots, 3$.

Как показали исследования, эти алгоритмы не могут быть эффективно применены для кадров с однородной текстурой и малым градиентом яркости. Однако благодаря малой вычислительной сложности данные алгоритмы нашли свое применение при кодировании видеокадров с предельной эффективностью.

Для улучшения показателя качества сжатия в рамках алгоритма H.264 был предложен алгоритм внутрикадрового предсказания с 9 возможными режимами [9], представленный на рис. 1, д. Благодаря учету градиента яркости по 9 направлениям эффективность предсказания повышена на 10 % за счет более высоких вычислительных затрат [10]. Малая значимость полученных результатов связана с тем, что при высоких степенях сжатия, на которые ориентирован алгоритм H.264, наиболее вероятными, несмотря на более широкий диапазон режимов, оказались основные 4 режима кодека VP8.

В этой связи в рамках стандарта HEVC подлагается использовать 35 режимов предсказания INTRA_ANGULAR (рис. 1, е), а именно 2 режима, „унаследованные“ из алгоритма H.264, которые являются наиболее вероятными при высоких степенях сжатия, и 33 новых режима, основанные на выборе градиента яркости. При этом стандарт HEVC предусматривает выбор трех наиболее вероятных прогнозов для блока в зависимости от прогнозов для соседних блоков [11] путем подсчета RD-характеристики для всех режимов. Следует отметить, что использование RD-характеристики позволяет выбрать оптимальный режим внутрикадрового предсказания, однако расчет значения имеет высокую вычислительную сложность. Поэтому разработка менее вычислительно сложного подхода к выбору режимов внутрикадрового предсказания является оправданной.

Разработанный метод. В ходе исследования было сделано предположение, что повышение гибкости механизма выбора процедуры прогнозирования позволит существенно уменьшить вычислительные затраты при сохранении качества работы алгоритма предсказания.

Выбор режима предсказания предлагается осуществлять следующим образом.

1. Осуществляется проход по всем семплам кадра. Если определенный семпл не последний, то осуществляется переход к шагу 2.

2. Первые два наиболее подходящих режима предсказания, обозначенные как A и B , выбираются способом, описанным в тестовой модели кодека HEVC [12].

3. Если $A \neq B$, то среди всех режимов, отличающихся от A и B , выбирается режим C , для которого используется критерий F : $F(C) \geq \max(F(A), F(B))$. Если $A=B$ и $A \neq \text{Intra_Angular}[x]$, то поиск осуществляется только среди режимов $\text{Intra_Angular}[x]$.

4. Выбор среди угловых режимов предсказания осуществляется методом последовательного перебора в направлениях 1—8 и 17—33 одновременно (см. рис. 1, е). В качестве критерия F в настоящем исследовании используется оценка среднеквадратического отклонения яркости пикселей исходного изображения от предсказанного [2]:

$$\text{MSE} = \frac{1}{mn} \sum_{i=0}^{m-1} \sum_{j=0}^{n-1} \|I(i, j) - K(i, j)\|^2, \quad (2)$$

где m, n — размеры кадра; $I(i, j)$ и $K(i, j)$ — яркости соответствующих пикселей прогнозируемого и ссылочного кадров.

5. В случае увеличения MSE в течение двух шагов выбирается режим предсказания, наиболее близкий по критерию F .

Эксперимент. Для тестирования разработанного метода был использован ряд видеопоследовательностей из тестового набора JCT-VC для стандарта H.265 [13—15]:

- 1) PeopleOnStreet, разрешение 2560×1600, 50 кадров/с;
- 2) BQTerrace, разрешение 1920×1080, 50 кадров/с;
- 3) PartyScene, разрешение 832×480, 60 кадров/с.

На рис. 2 приведена диаграмма, отражающая вероятность (P) выбора конкретных режимов предсказания при сжатии указанных тестовых видеопоследовательностей. Как видно, наиболее вероятными для всех видеопоследовательностей являются режимы предсказания Intra_DC и Intra_Planar. Однако для каждой видеопоследовательности существуют несколько угловых режимов предсказания с вероятностью $P > 4\%$, что в целом оправдывает использование такого количества угловых режимов предсказания в стандарте H.265.

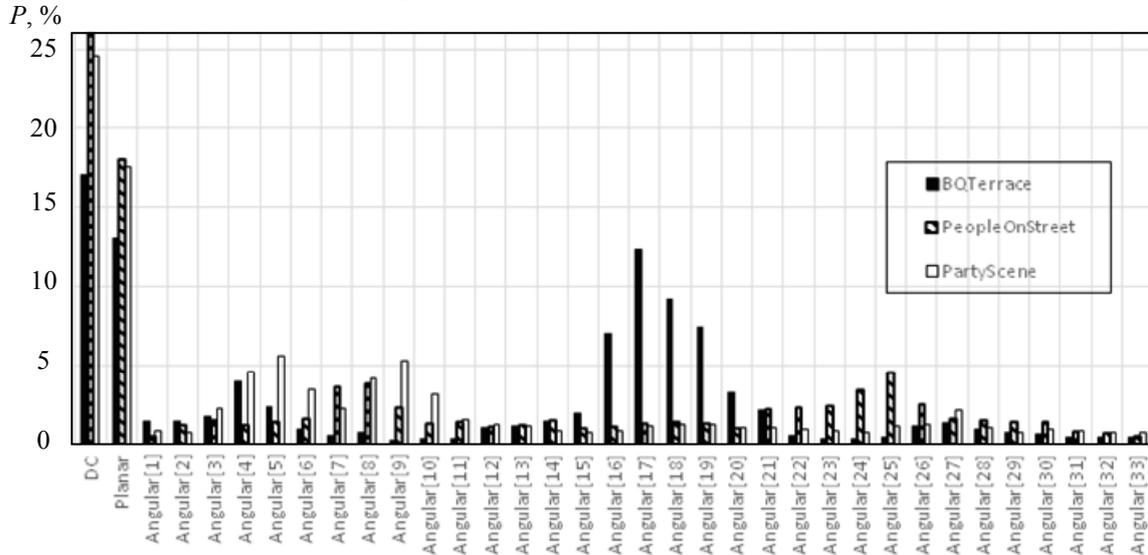


Рис. 2

На рис. 3 показано количество (в процентах) проанализированных режимов предсказания от общего числа просчитанных в тестовой модели HM 13.0 режимов для видеопоследовательностей с различной степенью сжатия. При использовании разработанного метода в среднем приходится просчитывать на 35 % режимов меньше, чем по тестовой модели HM 13.0, что является существенным снижением вычислительной сложности этапа внутрикадрового сжатия изображения.

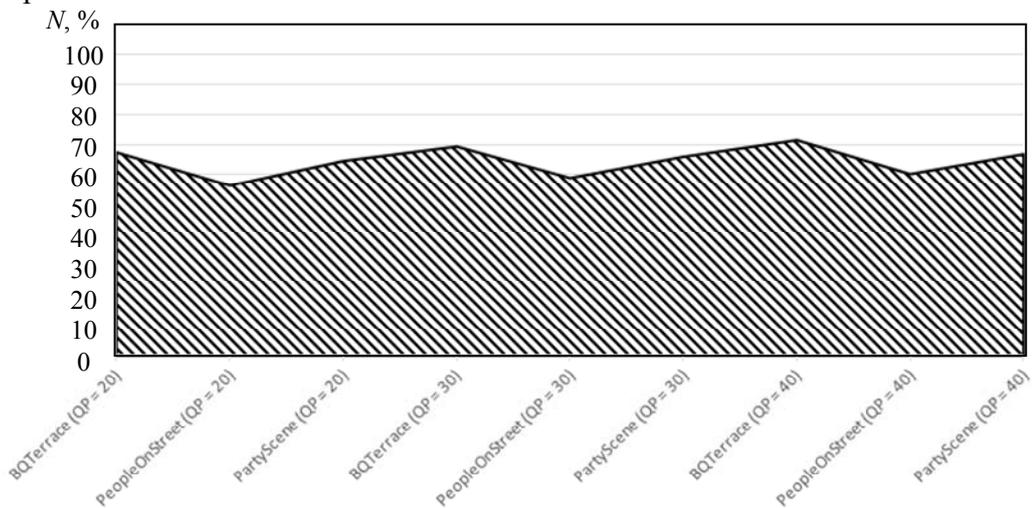


Рис. 3

RD-зависимости для рассматриваемых тестовых видеопоследовательностей представлены на рис. 4, а—в: наибольшие потери в 1,05 % по качеству сжатия (пиковому отношению сигнал/шум — PSNR) были выявлены на видеопоследовательности PeopleOnStreet, а в среднем такие потери составили 0,77 % от качества сжатия с использованием тестовой модели HM 13.0; наибольший выигрыш в 2,07 % по скорости сжатия (битрейт) был также получен на

видеопоследовательности PeopleOnStreet, а в среднем выигрыш составил 1,89 % от скорости сжатия с использованием тестовой модели HM 13.0.

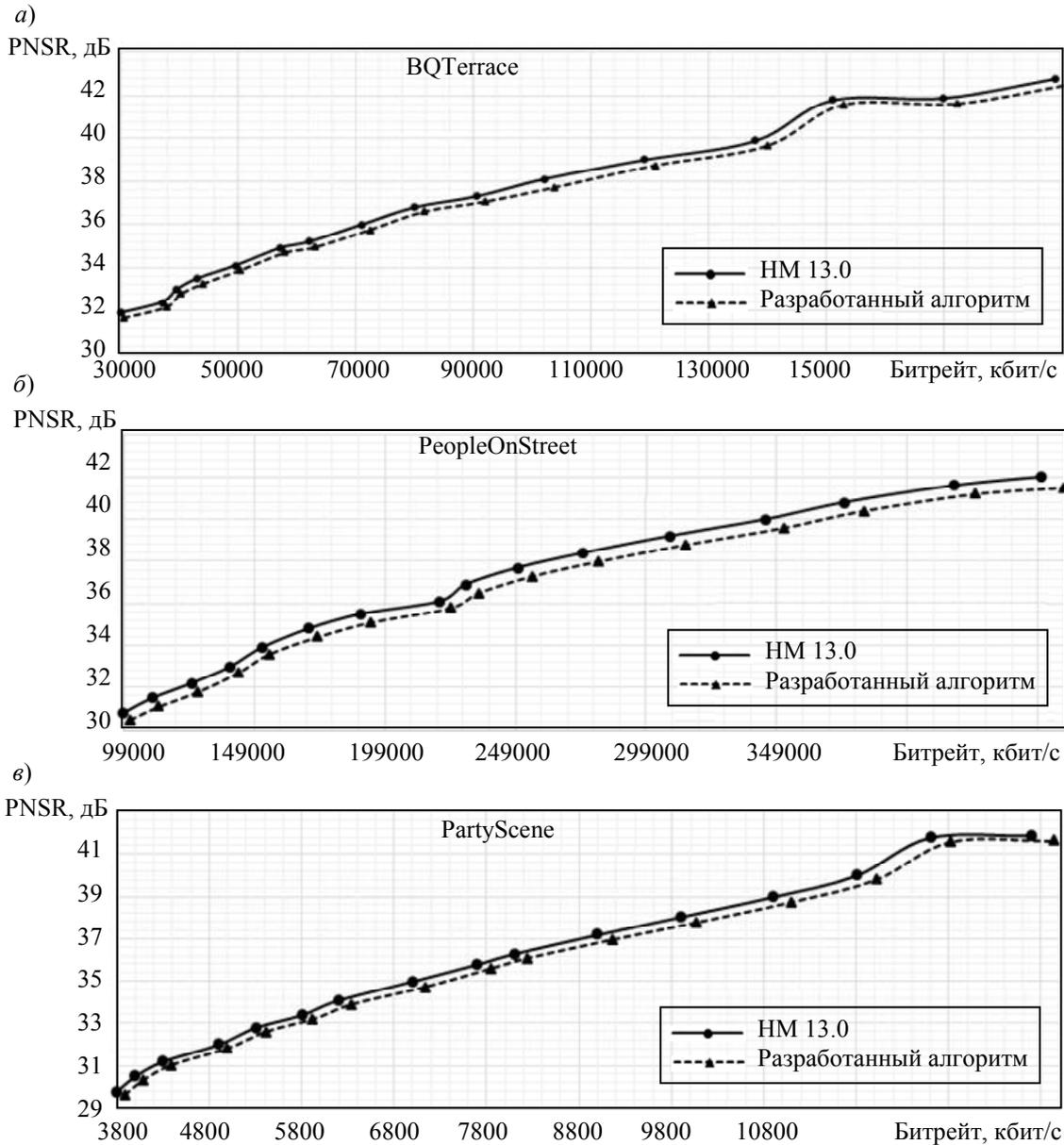


Рис. 4

Заключение. Представленный метод выбора режима внутрикадрового предсказания яркости пикселей для сжатия видеопоследовательностей позволяет значительно снизить вычислительные затраты. На основе полученных результатов можно утверждать, что путем дальнейшей оптимизации процедуры поиска может быть улучшено соотношение скорости сжатия к его качеству.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Generic Coding of Moving Pictures and Associated Audio Information: Video: MPEG-2 ISO/IEC 13818-2. Intr. 1998.04.28. ITU, 1998. 202 p.
2. Тропченко А. Ю., Тропченко А. А. Методы сжатия изображений, аудиосигналов и видео: Учеб. пособие. СПб: СПбГУ ИТМО, 2009. 108 с.
3. *Bross B.* High Efficiency VideoCoding (HEVC) — Text Specification Draft 10 [Электронный ресурс]: <<http://phenix.int-evry.fr/jct/>>, 24.12.2014.

4. Ватолин Д., Ратушняк А., Смирнов М. Методы сжатия данных. Устройство архиваторов, сжатие изображений и видео. М.: ДИАЛОГ-МИФИ, 2003. 384 с.
5. Сэломон Д. Сжатие данных, изображений и звука. М.: Техносфера, 2004. 368 с.
6. Ричардсон Я. Видеокодирование. H.264 и MPEG-4 — стандарты нового поколения. М.: Техносфера, 2005. 368 с.
7. Grois D., Marpe D., Mulyoff A., Hadar O. Performance comparison of H.265/MPEG-HEVC, VP9, and H.264/MPEG-AVC encoders // Proc. of the 30th Picture Coding Symp. 2013. Vol. 6, N 4. P. 122—143.
8. Bankoski J., Wilkins P., Xu Ya. Technical overview of VP8, an open source videocodec for the Web // Proc. of the IEEE Intern. Conf. on ICME. 2011. Vol. 14, N 4. P. 343—358.
9. Richardson I. White Paper: H.264/AVC Intra Prediction [Электронный ресурс]: <http://www.vcodex.com/files/H264_intrapred_wp.pdf>, 16.12.2014.
10. H.264: Advanced Videocoding for Generic Audiovisual Services: Recommendation ITU-T. Intr. 2011.03.14. ITU, 2011. 686 p.
11. Recommendation ITU-T H.265: High Efficiency Videocoding [Электронный ресурс]: <http://www.itu.int/dms_pubrec/itu-t/rec/h/T-REC-H.265-201304-S!!SUM-HTML-E.htm>, 01.02.2015.
12. Тестовая модель кодека HM 13.0 стандарта H.265/HEVC [Электронный ресурс]: <https://hevc.hhi.fraunhofer.de/svn/svn_HEVCSoftware/>, 11.01.2015.
13. Тестовые видеопоследовательности исследовательской группы JCT-VC [Электронный ресурс]: <<ftp://ftp.tnt.uni-hannover.de/testsequences>>, 15.12.2014.
14. Гонсалес Р., Вудс Р. Цифровая обработка изображений. М.: Техносфера, 2012. 1104 с.
15. Bossen F. Common Test Conditions and Software Reference Configurations [Электронный ресурс]: <http://phenix.it-sudparis.eu/jct/doc_end_user/documents/6_Torino/wg11/JCTVC-F900-v1.zip>, 16.12.2014.

Сведения об авторе

Ирина Семеновна Рубина

— канд. техн. наук; Университет ИТМО; кафедра вычислительной техники; E-mail: rubren@mail.ru

Рекомендована кафедрой
вычислительной техники

Поступила в редакцию
24.02.15 г.

Ссылка для цитирования: Рубина И. С. Метод сжатия видеопоследовательностей на основе внутрикадрового предсказания яркости пикселей // Изв. вузов. Приборостроение. 2015. Т. 58, № 7. С. 520—526.

ALGORITHM OF VIDEO SERIES COMPRESSION BASED ON INTRA-FRAME PREDICTION OF PIXEL BRIGHTNESS

I. S. Rubina

ITMO University, 197101, Saint Petersburg, Russia
E-mail: rubren@mail.ru

Existing algorithms of intra-frame pixel brightness prediction are considered. The algorithms used in video compression standards H.265 and VP9 are analyzed, characteristics of the algorithms are studied, and recommendations on their application are formulated. It is shown that a fundamental problem in video compression is the referent frame redundancy, and reduction in spatial redundancy may be improved by increasing the efficiency of intra-frame prediction algorithms. Particular attention is paid to indicators such as quality, compression ratio and computational complexity of compression process. Improving the flexibility of the mechanism of prediction procedure selection is found to reduce significantly the computational expenses while retaining the prediction algorithm performance. An adaptive method of intra-frame prediction based on the algorithm introduced by H.265 standard is proposed. The method is invariant to variations in video scene properties and reduces significantly the computational cost at the expense of a slight decrease in the video series quality. Results of testing the developed method with the use of a number of video sequences from JCT-VC test set for the H.265 standard are presented.

Keywords: video series compression, HEVC, VP9, intra-frame prediction, adaptive mode.

Data on author

Irina S. Rubina — PhD; ITMO University, Department of Computation Technologies;
E-mail: rubren@mail.ru

Reference for citation: *Rubina I. S.* Algorithm of video series compression based on intra-frame prediction of pixel brightness // *Izvestiya Vysshikh Uchebnykh Zavedeniy. Priborostroenie.* 2015. Vol. 58, N 7. P. 520—526 (in Russian).

DOI: 10.17586/0021-3454-2015-58-7-520-526

АРХИТЕКТУРНОЕ ДОКУМЕНТИРОВАНИЕ ВСТРОЕННЫХ СИСТЕМ С МНОГОУРОВНЕВОЙ КОНФИГУРАЦИЕЙ

А. В. ПЕНСКОЙ

Университет ИТМО, 197101, Санкт-Петербург, Россия
E-mail: aleksandr.penskoj@gmail.com

Представлено описание разработанного архитектурного стиля и нотация на базе UML, предназначенные для специфицирования и анализа встроенных систем применительно к организации многоуровневой конфигурации и инструментальной составляющей. Приведен анализ взаимосвязей аппаратной составляющей, программного обеспечения и этапов жизненного цикла системы.

Ключевые слова: конфигурация, встроенные системы, архитектура, архитектурный стиль, архитектурная нотация.

Введение. Одним из перспективных направлений разработки встроенных систем (ВсС) является применение реконфигурируемых архитектур [1], где конфигурирование рассматривается как универсальный механизм управления сложностью и функциональностью систем. Возможность изменения конфигурации позволяет создавать системы, адаптируемые для решения новых задач. Это сокращает требуемые на разработку системы технологические и временные затраты за счет повторного использования ее компонентов и оптимизации аппаратной составляющей [2]. В то же время наблюдается заметное увеличение степени конфигурируемости систем в целом, что проявляется как в росте числа уровней конфигураций в системе, так и в мере их влияния на ее конечные характеристики.

Как правило, конфигурация ВсС реализуется посредством введения формальных языков (либо общего назначения, либо специализированных), позволяющих задать свойства системы на различных уровнях ее представления. Уровней конфигураций в системе может быть множество (к примеру, для проекта [3] — языки Java и C, язык описания потоков обработки данных, конфигурация спецпроцессора и FPGA, конфигурация системы ввода—вывода). На рис. 1 представлена схема системы с одним уровнем конфигурации и реализуемого ею вычислительного процесса. Отсутствие ограничений на тип механизма конфигурирования системы и на тип базового вычислителя делают данную схему универсальной.

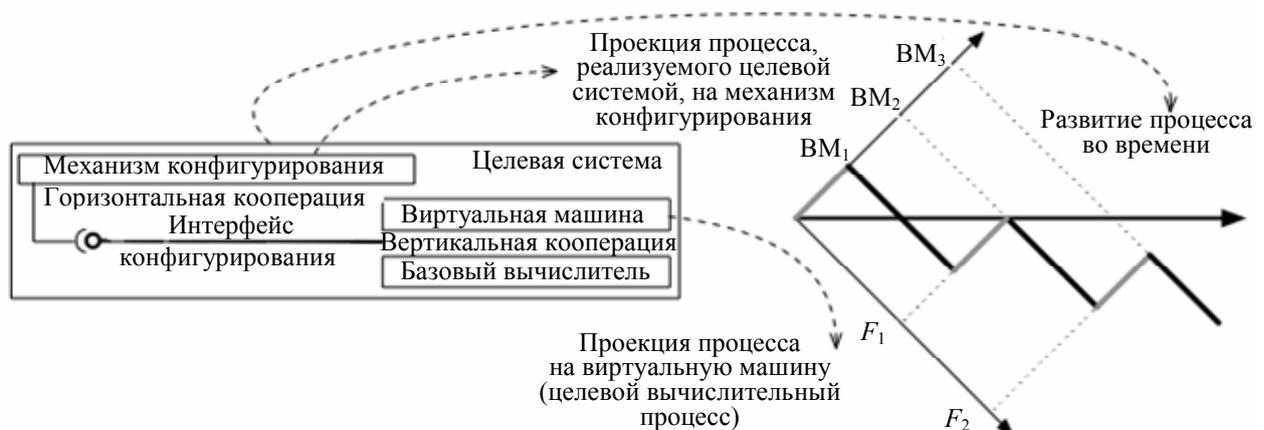


Рис. 1

Применение множества разнородных видов конфигураций в системе приводит к возрастанию сложности инструментальной цепочки, межуровневого взаимодействия и процесса

пусконаладки. Это обуславливает особую значимость средств концептуального уровня для работы над ВcС и ее инструментальной составляющей [4].

Архитектурные стили. Организация многоуровневой конфигурации ВcС требует комплексного рассмотрения всей системы как в абстрактном виде, так и в приближенном к исполняемому (executable) представлении. Такие задачи решаются в рамках архитектурного анализа ВcС. Основную роль в процессе работы на данном уровне абстракции играют архитектурные стили [5], определяющие способы рассмотрения ВcС и систему понятий. Комбинация стилей для каждого проекта выбирается индивидуально, в зависимости от его технических особенностей и организации работы над ним [4]. Выбор используемой нотации является вторичным, так как в значительной степени определяется конкретной ситуацией и традициями, сложившимися в коллективе разработчиков проекта.

Конфигурирование классифицируется:

— по предмету конфигурации [6] — программному обеспечению (программирование) и аппаратному обеспечению (реконфигурация);

— по фазе жизненного цикла — фазе подготовки к эксплуатации (design-time — компиляция, синтез, кодогенерация) и фазе эксплуатации (run-time — интерпретация, реконфигурация ПЛИС).

Правильное распределение функций между видами конфигурации оказывает значительное влияние на характеристики системы, трудозатраты на ее разработку и на эффективность системы в целом. Примерами таких систем являются следующие проекты: процессорная архитектура NISC [7]; реконфигурируемые архитектуры [2]; проекты mbeddr и steps, методологическое направление Hardware Software Codesign [8].

Для многих проектов характерны следующие проблемы [4, 6]:

— суженное пространство проектных решений (Design Space [6]) относительно вычислительных платформ, излишне шаблонное проектирование, фиксация принятых решений в качестве пунктов технического задания — это приводит к росту рисков проекта, разрешающихся лишь на финальных этапах, а также к неоптимальным решениям;

— неэффективное распределение функций и ресурсов между аппаратной и программной составляющими системы, фазами ее жизненного цикла, целевой ВcС и ее инструментальным компонентом — это приводит к неоправданному росту сложности разработки;

— невозможность разделения аппаратной и программной составляющих ВcС на поздних стадиях проекта, что приводит к повышению проектных рисков;

— потеря информации об устройстве ВcС концептуального уровня, что приводит к увеличению стоимости поддержки.

В значительной мере перечисленные проблемы вызваны отсутствием развитых архитектурных стилей и нотаций, ориентированных на работу с многоуровневой конфигурацией ВcС и взаимосвязями уровней. Наиболее подходящими архитектурными стилями являются уровеньный стиль и модель актуализации.

Уровеньный стиль (Layered Style [5]) ориентирован на модульную декомпозицию системы и, как следствие, не позволяет непосредственно работать с конфигурацией на фазе run-time, кроме того, он не предоставляет понятийного аппарата для работы с виртуальными машинами и вычислителями.

Модель актуализации вычислительного процесса [9]. Данный стиль ориентирован на представление ВcС как совокупности трансляторов. Основными недостатками стиля являются излишняя общность, затрудняющая определение границ его применимости, и совместное рассмотрение процессов конфигурирования и целевой обработки данных. Это приводит к неоднозначности спецификаций и не позволяет сфокусировать внимание на вопросах конфигурирования.

В настоящей статье представлено краткое описание разработанного автором архитектурного стиля и нотации, предназначенных для организации многоуровневой конфигурации в ВcС.

Архитектурный стиль „модель — процесс — вычислитель“. Отличительной особенностью архитектурного стиля, разработанного для специфицирования ВcС с многоуровневой конфигурацией, является масштабируемость относительно количества уровней конфигураций. Возможности предлагаемого стиля продемонстрируем на примере процессорной архитектуры Transport Triggered Architecture (ТТА) [10], реализуемой на программируемой логике (ПЛИС). Данная архитектура позволяет организовать следующие уровни конфигураций:

- блоков обработки данных (БОД);
- состава БОД в конкретном процессоре;
- целевого алгоритма.

Данная спецификация основана на гипотезе, что ВcС можно определить как тройку (M, P, C) , где M — модель вычислительного процесса (конечный автомат, программа на языке СИ или конфигурация ПЛИС); P — вычислительный процесс (ВП), конкретный ВП фазы run-time всегда является уникальным; C — вычислитель (ПЛИС, процессор, виртуальная машина). Работа с этими компонентами производится взаимонезависимо, в соответствии с результатами в области онтологического моделирования [11]. Это позволяет достичь высокой гибкости спецификаций по сравнению с традиционным подходом. Между этими тремя компонентами (M, P, C) определены следующие отношения.

Трансляция — формальное соответствие двух моделей по заданному критерию (как правило, поведенческому). Например: компиляция с языка СИ в исполняемый код; трансляция архитектурных спецификаций в целевую систему, выполняемая командой разработчиков.

Актуализация — задание/выделение структуры ВП через его модель (выделение промежуточных состояний, шагов и компонентов ВП); может производиться по построению ВП (модель в виде исполняемого кода выполнена на процессоре) или путем внешнего сопоставления (верификация на соответствие ВП, полученного исполнением кода на языке СИ, его спецификации в виде конечного автомата).

Виртуализация — абстракция над вычислительным процессом, формирующая вычислитель или виртуальную машину, которая определяет полное множество атомарных шагов ВП и позволяет описать любой валидный ВП (в случае если ВП не может быть выражен в рамках вычислителя, это свидетельствует либо о сбое, либо о некорректно выбранной абстракции). Каждому атомарному компоненту ВП соответствует вычислительный механизм (ВМх), обеспечивающий его развертку во времени; ВМх является компонентом вычислителя и реализуется на уровне выделения и вниз до уровня физических процессов (выходящих за границы компетенции специалиста по вычислительной технике). Характер взаимодействия вычислительных механизмов не регламентируется и должен определяться в рамках иных архитектурных стилей [5].

На рис. 2 приведен пример спецификации, выполненной в рассматриваемом архитектурном стиле, а также описание элементов предложенной нотации. Разработанная нотация основана, главным образом, на диаграммах деятельности (Activity Diagram) и диаграммах развертывания (Deployment Diagram) унифицированного языка моделирования (UML). Данный выбор обусловлен наличием развитого инструментария для UML.

Как видно на схеме, конфигурирование блоков обработки данных может осуществляться взаимонезависимо на языке описания аппаратуры (HDL — Hardware Description Language). Их интеграция в ТТА-процессор производится на основании описания конфигурации, транслируемого в HDL-код соответствующими инструментальными средствами, что позволяет абстрагироваться от излишних деталей аппаратуры и сосредоточиться на требуемых

функциональных характеристиках процессора. Работа с целевым алгоритмом производится не в терминах организации ВП ТТА (пересылки данных между БОД), а на языке высокого уровня.

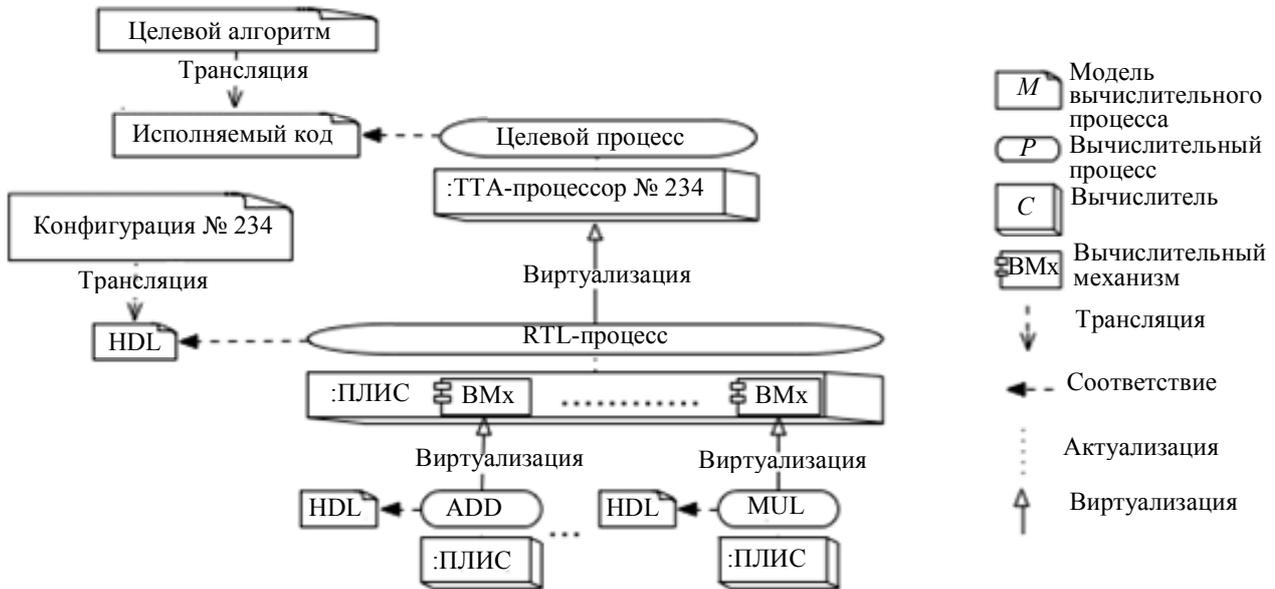


Рис. 2

Разработанный архитектурный стиль позволяет:

— абстрагироваться от разделения на программную и аппаратную составляющие, следовательно, решить проблему раннего их разделения при проектировании;

— различать процессы фазы design-time (трансляции и верификации) и фазы run-time (актуализации и виртуализации) и работать со множеством моделей одного вычислительного процесса, следовательно, проектировать в комплексе целевую ВcС и ее инструментальную цепочку;

— отображать формирование из компонентов нижележащих уровней вычислителей и вычислительных платформ, а также влияние VMx на целевой вычислительный процесс с учетом элементов ВП, которые не могут быть выражены в рамках верхнего уровня.

В совокупности возможности предложенного архитектурного стиля делают его эффективным инструментом для анализа и документирования процесса организации многоуровневых конфигурируемых ВcС. Кроме того, данная спецификация имеет большой потенциал в области построения САПР. В настоящее время ведутся работы по формализации данного архитектурного стиля в виде математического аппарата САПР для построения инструментальных цепочек специализированных процессоров, включающих компиляторы, симуляторы, средства профилирования, средства статической и динамической верификации.

Заключение. Рост степени конфигурируемости ВcС должен быть поддержан соответствующими инструментальными средствами архитектурного уровня, ориентированными на представление взаимосвязей между уровнями конфигурации целевой системы и ее инструментальной цепочкой, программной и аппаратной составляющими системы, фазами ее жизненного цикла. Представленный в статье архитектурный стиль специфицирования ВcС и соответствующая нотация отвечают этим требованиям. Способ декомпозиции ВП на шаги и вычислителя на соответствующие им VMx, используемый в данном архитектурном стиле, позволил положить его в основу САПР для создания инструментальных цепочек специализированных вычислителей, работы над которыми ведутся в настоящее время. Предлагаемая же нотация была апробирована на реальных проектах.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Qureshi T. N., Törngren M., Persson M., Chen D., Sjöstedt C.-J. Towards harmonizing multiple architecture description languages for real-time embedded systems // Proc. of Real-Time in Sweden (RTiS'11), June 13—14, 2011. Västerås, Sweden.
2. Hartenstein R. A decade of reconfigurable computing: a visionary retrospective // Proc. of the Conf. on Design, Automation and Test in Europe (DATE '01): Piscataway, NJ: IEEE Press, 2001. P. 642—649.
3. Болгаров И. С., Маковецкая Н. А., Платунов А. Е., Постников Н. Н. Проектирование приборных контроллеров // Изв. вузов. Приборостроение. 2012. Т. 55, № 10. С. 73—77.
4. Platunov A., Kluchev A., Penskoï A. HLD Methodology: The role of architectural abstractions in embedded systems design // Proc. of the 14th Intern. Multidisciplinary Scientific GeoConference on Informatics, Geoinformatics and Remote Sensing (SGEM 2014), Albena, Bulgaria. 2014. P. 209—218.
5. Garlan D., Bachmann F., Ivers J., Stafford Ju., Bass L., Clements P., Merson P. Documenting Software Architectures: Views and Beyond. Addison-Wesley Professional, 2010.
6. Platunov A., Kluchev A., Penskoï A. Expanding design space for complex embedded systems with HLD-methodology // Proc. of the 6th Intern. Congress on Ultra Modern Telecommunications and Control Systems and Workshops (ICUMT), 6—8 Oct., 2014, St. Petersburg. P. 157—164.
7. STEPS Toward Expressive Programming Systems // Progress Report Submitted to the National Science Foundation (NSF), Oct. 2010; Viewpoints Research Institute, Los Angeles [Электронный ресурс]: <http://www.vpri.org/pdf/tr2010004_steps10.pdf>.
8. Teich J. Hardware/Software Codesign: the past, the present, and predicting the future // Proc. of the IEEE. 2012. Vol.100, Special Centennial Iss. P. 1411—1430.
9. Platunov A., Penskoï A., Kluchev A. The architectural specification of embedded systems // Proc. of the 3rd Mediterranean Conf. on Embedded Computing (MECO 2014 — Including ECyPS 2014), 2014. P. 48—51.
10. On Efficiency of Transport Triggered Architectures in DSP Applications // Advances in Systems Engineering, Signal Processing and Communications; Ed. N. Mastorakis. New York, NY: WSES Press, 2002. P. 25—29.
11. Partridge C. Business Object: Re-Engineering for Re-Use. London: BORO Centre, 2005.

Сведения об авторе

Александр Владимирович Пенской — аспирант; Университет ИТМО; кафедра вычислительной техники; E-mail: aleksandr.penskoï@gmail.com

Рекомендована кафедрой
вычислительной техники

Поступила в редакцию
13.03.15 г.

Ссылка для цитирования: Пенской А. В. Архитектурное документирование встроенных систем с многоуровневой конфигурацией // Изв. вузов. Приборостроение. 2015. Т. 58, № 7. С. 527—532.

**ARCHITECTURAL SPECIFICATION OF EMBEDDED SYSTEMS
WITH MULTI-LEVEL CONFIGURATION****A. V. Penskoï**

*ITMO University, 197101, Saint Petersburg, Russia
E-mail: aleksandr.penskoï@gmail.com*

An architecture style is developed, description of the style and notation based on UML for specification and analysis of embedded systems in terms of multi-level organization and hardware. Analysis of relationships between the hardware and software components, and the system life cycle stages is presented.

Keywords: configuration, embedded system, architecture, architecture style, architectural notation.

Data on author

Aleksander V. Penskoï — Post-Graduate Student; ITMO University, Department of Computation Technologies; E-mail: aleksandr.penskoï@gmail.com

Reference for citation: *Penskoi A. V.* Architectural specification of embedded systems with multi-level configuration // *Izvestiya Vysshikh Uchebnykh Zavedeniy. Priborostroenie.* 2015. Vol. 58, N 7. P. 527—532 (in Russian).

DOI: 10.17586/0021-3454-2015-58-7-527-532

ИССЛЕДОВАНИЕ РАБОТОСПОСОБНОСТИ ОДНОРОДНОЙ ИНФОРМАЦИОННОЙ СЕТИ С УЧЕТОМ ФАКТОРОВ РИСКА

И. Ю. ПАРАМОНОВ, В. А. СМАГИН

*Военно-космическая академия им. А. Ф. Можайского, 197198, Санкт-Петербург, Россия
E-mail: ivan_paramonov@mail.ru*

Исследуется пропускная способность информационной сети, состоящей из однородных независимых элементов, при воздействии внутренних и внешних дестабилизирующих факторов. В основу математической модели сети положено допущение об обратной зависимости величины ущерба от пропускной способности. Для заданного критического значения пропускной способности сети определена величина риска (вероятность возникновения критического состояния) и соответствующее ему значение ущерба.

Ключевые слова: информационная сеть, внутренние и внешние воздействия, пропускная способность, критическое состояние, вероятность, закон распределения, риск, ущерб.

Введение. Возросший интерес исследователей к изучению сетевых структур различного назначения и информационных процессов в них связан с увеличением количества такого рода сетей и усложнением принципов их организации. Исследование качества и эффективности функционирования структурно и функционально сложных сетей и способов информационного взаимодействия их элементов является актуальной задачей.

В работе [1] предложен способ оценивания количества информационной работы, выполняемой вычислительной сетью. Под количеством информационной работы сети применительно к отдельному ее элементу понимается величина

$$W(t) = ItP(t),$$

где I — идеальная информационная пропускная способность элемента, t — время непрерывной работы сети, $P(t)$ — вероятность безотказной работы элемента в течение времени t .

В настоящей статье при исследовании информационных сетей будем учитывать эффективную пропускную способность элемента сети, определяемую выражением

$$I'(t) = IP(t).$$

Цель исследования — изучение свойств сети, состоящей из однородных независимых элементов, соединенных параллельно и функционирующих одновременно. Каждый из элементов сети со временем может перейти в неработоспособное состояние без возможности дальнейшего восстановления. Потеря работоспособности элемента возможна по двум причинам: воздействие внутренних факторов (ненадежность) и воздействие внешних факторов.

Требуется оценить работоспособность сети во времени при заданном критическом значении пропускной способности, величину риска наступления критического состояния и величину ущерба.

Метод решения и численные результаты. Проиллюстрируем процесс решения поставленной задачи на конкретном примере. Зададим следующие исходные данные: идеальная пропускная способность элемента $I = 10$ операций/ч; число элементов сети $N = 20$; закон распределения времени безотказной работы элементов — усеченно-нормальный. Плотность распределения времени жизни элемента определяется выражением

$$f(t) = (c / \sqrt{2\pi} \cdot \sigma) \exp\left(-\frac{(t - m)^2}{2\sigma^2}\right),$$

где $m = 20$ ч, $\sigma = 6$ ч, $c = 1$, а вероятность безотказной работы элемента выражением —

$$P(t) = \int_t^{\infty} f(z) dz.$$

Эффективная пропускная способность сети

$$\Pi(t) = IN(P(t))^N.$$

На рис. 1 представлен график зависимости $\Pi(t)$. Уменьшение эффективной пропускной способности сети связано с переходом элементов в неработоспособное состояние из-за воздействия внутренних факторов.

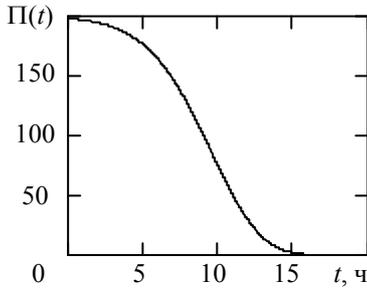


Рис. 1

Воздействие внешних дестабилизирующих факторов может быть связано с влиянием действий злоумышленника в целях вывода элементов из строя (разрушения). Примем следующие параметры воздействия злоумышленника: закон распределения времени воздействия $Q(t) = 1 - \exp(-\lambda t)$, где $\lambda = 0,1 \text{ ч}^{-1}$ — интенсивность воздействия. Количество разрушенных элементов может изменяться в пределах $i = 0, 1, \dots, 20$.

При исследовании сети будем рассматривать временной интервал от начала функционирования сети до значения $t = 14 \text{ ч}$. Вероятность разрушения i элементов за это время определяется как

$$R_i = C_N^i Q(t)^i (1 - Q(t))^{N-i}, \quad C_N^i = \frac{N!}{i!(N-i)!}.$$

Введем показатель относительного количества разрушенных злоумышленником элементов: $\alpha_i = i / N$. Результаты расчета значений величин C, R, α приведены в табл. 1.

Таблица 1

i	C	R	α
1	20	$4,225 \cdot 10^{-11}$	0,005
2	190	$1,226 \cdot 10^{-9}$	0,1
3	$1,14 \cdot 10^3$	$2,248 \cdot 10^{-8}$	0,15
4	$4,845 \cdot 10^3$	$2,919 \cdot 10^{-7}$	0,2
5	$1,55 \cdot 10^4$	$2,854 \cdot 10^{-6}$	0,25
6	$3,876 \cdot 10^4$	$2,18 \cdot 10^{-5}$	0,3
7	$7,752 \cdot 10^4$	$1,332 \cdot 10^{-4}$	0,35
8	$1,26 \cdot 10^5$	$6,612 \cdot 10^{-4}$	0,4
9	$1,68 \cdot 10^5$	$2,694 \cdot 10^{-3}$	0,45
10	$1,848 \cdot 10^5$	$9,052 \cdot 10^{-3}$	0,5
11	$1,68 \cdot 10^5$	0,025	0,55
12	$1,26 \cdot 10^5$	0,058	0,6
13	$7,752 \cdot 10^4$	0,108	0,65
14	$3,876 \cdot 10^4$	0,165	0,7
15	$1,55 \cdot 10^4$	0,202	0,75
16	$4,845 \cdot 10^3$	0,193	0,8
17	$1,14 \cdot 10^3$	0,139	0,85
18	190	0,071	0,9
19	20	0,023	0,95
20	1	$3,472 \cdot 10^{-3}$	1

Максимальное значение вероятности $R_{15} = 0,202$ примем в качестве наиболее вероятного для времени $t = 14 \text{ ч}$. Математическое ожидание, вычисленное по формуле $M = \sum_{i=0}^{20} i R_i$,

равно $M = 15,068$. Значение $\alpha_{15} = 0,75$ можно рассматривать как долю ущерба сети относительно пропускной способности.

Итак, за время функционирования $t = 14$ ч число оставшихся в сети работоспособных элементов составляет $N'(14) = 6,375$. Однако за это время злоумышленник сможет вывести из строя $N'(14)R_{15} = 1,276$ элементов, тогда работоспособных элементов останется $N'(14)(1 - R_{15}) = 5,041$.

Пусть величина ущерба обратно пропорциональна количеству оставшихся работоспособных элементов:

$$U(t) = \frac{k}{N'(t)(1 - \max(R_i(t)))}$$

где k — коэффициент пропорциональности, значение которого определяется экспериментально на основе имеющихся статистических данных или с использованием экспертных методов.

С увеличением времени функционирования сети значение коэффициента k должно возрастать, что обуславливается увеличением в процессе работы сети значения риска r и соответствующего ему ущерба.

Положим $k = 300$, тогда при $R_{15} = 0,202$ величина ущерба $U(t) = 633,545$. Сравнивая это значение ущерба с максимальным значением пропускной способности сети, равным 200 (см. рис. 1), можно прийти к заключению, что в данном случае применение сети не только нерентабельно, но может привести к катастрофическим последствиям. Отметим, что величина риска при этом составит $r = 1 - (Q(14))^{20} = 0,997$.

Изменения значений ущерба и пропускной способности сети в процессе ее функционирования проиллюстрированы графиком, представленным на рис. 2.

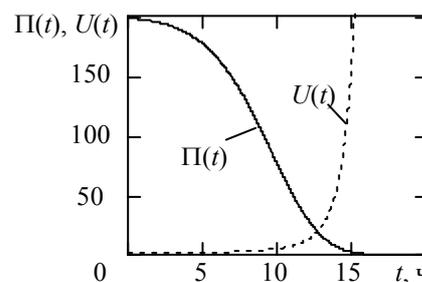


Рис. 2

Рассмотрим другой пример. В качестве события, отражающего нанесение критического ущерба сети, примем снижение пропускной способности до значения $\Pi(t) = 150$, при котором соответствующий ему момент времени равен $t = 6,863$ ч. Результаты расчета значений C, R, α для данного примера представлены в табл. 2.

Таблица 2

i	C	R	α
1	20	$2,157 \cdot 10^{-5}$	0,005
2	190	$2,022 \cdot 10^{-4}$	0,1
3	$1,14 \cdot 10^3$	$1,196 \cdot 10^{-3}$	0,15
4	$4,845 \cdot 10^3$	$5,015 \cdot 10^{-3}$	0,2
5	$1,55 \cdot 10^4$	0,016	0,25
6	$3,876 \cdot 10^4$	0,039	0,3
7	$7,752 \cdot 10^4$	0,077	0,35
8	$1,26 \cdot 10^5$	0,123	0,4
9	$1,68 \cdot 10^5$	0,162	0,45
10	$1,848 \cdot 10^5$	0,176	0,5
11	$1,68 \cdot 10^5$	0,158	0,55
12

Согласно табл. 2 максимальное значение вероятности $R_{10} = 0,176$. Положив, как и в предыдущем примере, $k = 300$, определим величину ущерба $U(6,863) = 2,367$, при котором значение риска будет равно $r = 1 - (Q(6,863))^N = 0,234$.

Результаты выполненных исследований применительно к информационным сетям позволяют уточнить и дополнить изложенное в работе [2] представление о соотношении показателей эффективности функционирования сети и значений возможных рисков и ущербов.

Заключение. Представлены результаты исследования работоспособности информационной сети, состоящей из однородных независимых элементов. Показателем работоспособности сети является значение реальной пропускной способности с учетом ненадежности элементов и возможности их разрушения противоположной стороной. В основу математической модели сети положено допущение об обратной зависимости величины ущерба от пропускной способности. Для заданного критического значения пропускной способности сети определена величина риска (вероятность возникновения критического состояния) и соответствующее ему значение ущерба.

В ходе дальнейших исследований сетей предполагается рассмотреть последовательность возрастающих во времени рисков и связанную с ней последовательность возрастающих ущербов.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Парамонов И. Ю., Смагин В. А. Оценивание количества информационной работы вычислительной сети // Изв. вузов. Приборостроение. 2012. Т. 55, № 12. С. 16—20.
2. Соложенцев Е. Д. Сценарное логико-вероятностное управление риском в бизнесе и технике. СПб: Изд. дом. „Бизнес-пресса“, 2006. 560 с.

Сведения об авторах

Иван Юрьевич Парамонов

— канд. техн. наук, докторант; ВКА им. А. Ф. Можайского, кафедра метрологического обеспечения; E-mail: ivan_paramonov@mail.ru

Владимир Александрович Смагин

— д-р техн. наук, профессор; ВКА им. А. Ф. Можайского, кафедра метрологического обеспечения; E-mail: va_smagin@mail.ru

Рекомендована кафедрой метрологического обеспечения

Поступила в редакцию 29.07.14 г.

Ссылка для цитирования: Парамонов И. Ю., Смагин В. А. Исследование работоспособности однородной информационной сети с учетом факторов риска // Изв. вузов. Приборостроение. 2015. Т. 58, № 7. С. 533—536.

ANALYSIS OF A HOMOGENEOUS INFORMATION NETWORK EFFICIENCY WITH DUE REGARD FOR RISK FACTORS

I. Yu. Paramonov, V. A. Smagin

A. F. Mozhaysky Military Space Academy, 197198, Saint Petersburg, Russia
E-mail: ivan_paramonov@mail.ru

Effective capacity of an information network consisting of homogeneous independent operators is estimated when the operators are subject to internal and external disturbing factors. The mathematical model used in the study is based on supposition of inverse relationship between the damage and the transmission capacity. For a given critical value of the network capacity, the risk level (a critical condition emergence probability) and corresponding damage volume are determined.

Keywords: information network, internal and external influences, throughput, critical condition, probability, distribution law, risk, damage.

Data on authors

Ivan Yu. Paramonov

— PhD, Doctoral Cand.; A. F. Mozhaysky Military Space Academy, Department of Metrological Support; E-mail: ivan_paramonov@mail.ru

Vladimir A. Smagin

— Dr. Sci., Professor; A. F. Mozhaysky Military Space Academy, Department of Metrological Support; E-mail: va_smagin@mail.ru

Reference for citation: Paramonov I. Yu., Smagin V. A. Analysis of a homogeneous information network efficiency with due regard for risk factors // Izvestiya Vysshikh Uchebnykh Zavedeniy. Priborostroyeniye. 2015. Vol. 58, N 7. P. 533—536 (in Russian).

DOI: 10.17586/0021-3454-2015-58-7-533-536

ОПТИЧЕСКИЕ И ОПТИКО-ЭЛЕКТРОННЫЕ ПРИБОРЫ И СИСТЕМЫ

УДК 681.7.062
DOI: 10.17586/0021-3454-2015-58-7-537-542

АВТОКОЛЛИМАЦИОННЫЙ СПОСОБ ИЗМЕРЕНИЯ ФОКУСНОГО РАССТОЯНИЯ ОБЪЕКТИВА

А. Г. ЕРШОВ

Государственный оптический институт им. С. И. Вавилова, 199053, Санкт-Петербург, Россия
E-mail: ers@npgoi.ru

Предложен автоколлимационный способ измерения фокусного расстояния линзового объектива „Апо-Марс-7“ на длине волны 1,064 мкм. Проанализированы источники неопределенностей, влияющих на конечную неопределенность измерения. Изложены ограничения по применению данного способа при других длинах волн и для других объективов.

Ключевые слова: *фокусное расстояние, автоколлимационный способ, неопределенность измеряемой величины**

Известные многочисленные способы измерения фокусных расстояний объективов условно можно подразделить на две большие группы — 1) с использованием установок, в состав которых входит коллиматор, и 2) с использованием установок, не содержащих коллиматор. К первой группе относятся следующие методы: регламентируемые гос. стандартом [1] метод увеличения и метод Фабри — Юдина, а также различные модификации этих методов [2, 3]; прямой метод, метод коллиматора и трубы с фокусировкой [4]. Ко второй группе можно отнести угломерный метод (также регламентируемый гос. стандартом [1]) и его модификации, автоколлимационный метод Русинова и другие автоколлимационные методы [2, 5]. Традиционные способы дополняются различными изобретениями [3, 6, 7].

Исторически сложилось так, что при реализации подавляющего большинства методов измерения фокусных расстояний объективов производятся в видимом диапазоне спектра. При необходимости определения фокусного расстояния в инфракрасном или ультрафиолетовом диапазоне возникают трудности реализации известных методов измерения, вызванные особенностями создания и юстировки коллиматоров, а также спецификой применения угломерных приборов в этих диапазонах. На практике это приводит к большим дополнительным материальным затратам. Однако определение фокусного расстояния в указанных диапазонах может быть необходимым условием при разработке некоторых оптических и оптико-электронных приборов. Например, при создании и настройке лазерного высотомера по программе „Фобос-Грунт“ [9, 10] знание абсолютных значений углов отклонения пучков излучения лазерного передающего модуля относительно одной из осей измерительной системы

* Термин „неопределенность измеренного значения“ (кратко — „неопределенность“), используемый в настоящей статье, и связанный с ним подход к оцениванию качества измерения закреплены в международных метрологических документах [8]. Эта концепция, связанная, в частности, с признанием непостижимости истинного значения измеряемой величины, не нашла, однако, широкой поддержки в научной среде в отличие от классической концепции, основанной на терминологии погрешностей.

координат и их неопределенностей является принципиальным для системы управления космическим аппаратом при посадке на поверхность Фобоса (спутник Марса). При настройке и юстировке лазерного высотомера угол отклонения пучка вычисляется по формуле, содержащей фокусное расстояние использованного при данных измерениях объектива, в фокальной плоскости которого создана имитация бесконечно удаленного облучаемого объекта.

Для имитации реальных условий работы, юстировки, настройки и измерения необходимых параметров лазерного высотомера была создана установка на базе линзового объектива „Апо-Марс-7“ с фокусным расстоянием 1800 мм и относительным отверстием 1:3,6. Данный объектив рассчитан и изготовлен для работы в видимом диапазоне спектра (ахроматизован в области 570...710 нм), а лазерный передающий модуль высотомера работает на длине волны 1,064 мкм. Поэтому при определении углов отклонения пучков необходимо не только выставить плоскость фоточувствительной матрицы, при помощи которой визуализируется излучение с $\lambda = 1,064$ мкм, в плоскость наилучшего изображения (фокальную плоскость), но и измерить фокусное расстояние объектива на этой длине волны. При больших габаритах объектива „Апо-Марс-7“ данная задача достаточно сложна и предполагает создание дорогостоящего оборудования. Наиболее подходящим для решения этой задачи мог бы быть один из описанных в работе [5, с. 32—37] автоколлимационных способов, однако их анализ показал, что в данном случае они неприемлемы. Таким образом, необходимо было разработать сравнительно простой способ измерения фокусного расстояния объектива „Апо-Марс-7“, который по неопределенности измеренного значения фокусного расстояния, трудоемкости и финансовым затратам на реализацию удовлетворял бы заданным ограничениям.

Основная задача заключалась в установке в единую плоскость источника излучения с $\lambda = 1,064$ мкм и фоточувствительной плоскости матрицы, предназначенной для фиксации пучков излучения лазерного передающего модуля и изображений волокон приемного модуля. Эту единую плоскость необходимо совместить с плоскостью наилучшего изображения для объектива „Апо-Марс-7“ [11]. В качестве источника первичного излучения был выбран светодиод LED1070-03 фирмы “Roithner Lasertechnik” (Австрия) с максимальной мощностью излучения на длине волны 1,07 мкм и полушириной спектральной полосы излучения 55 нм. Требуемая длина волны 1,064 мкм выделялась с помощью узкополосного прозрачного в видимой области спектра интерференционного фильтра “MaxLine™ LaserLineFilter 1064” фирмы “Edmund Optics” (США) с полной шириной полосы пропускания по полувысоте от максимума, составляющей более 4 нм. На рис. 1 показана спектрограмма $\tau(\lambda)$ пропускания интерференционного фильтра: справа — узкая полоса с центром на длине волны 1,064 мкм; в центре — широкая полоса пропускания в видимой области.

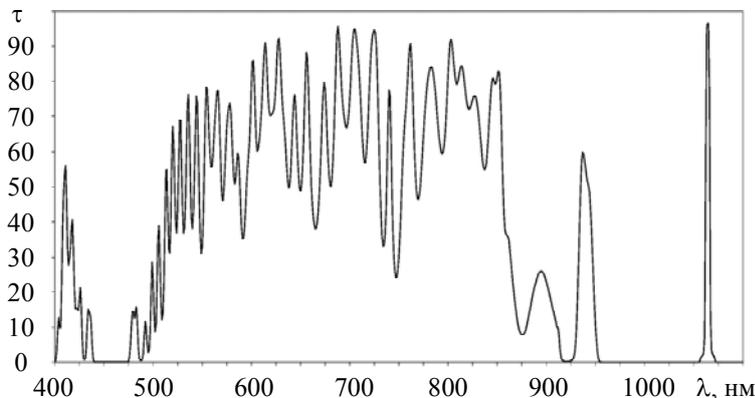


Рис. 1

Для повышения отношения сигнал/шум и увеличения контраста изображения на матрице камеры излучающая площадка светодиода была принята в качестве первичного и единственного источника излучения. Прозрачность узкополосного светофильтра в видимой области

играет решающую роль, так как с помощью микроскопа можно наблюдать как излучающую площадку светодиода, так и топологию фоточувствительных элементов матрицы при выставлении их в единую плоскость.

Схема установки для измерения фокусного расстояния объектива автоколлимационным способом приведена на рис. 2, а. Излучающая площадка светодиода 3 и плоскость фоточувствительных элементов матрицы 4 выставлены в одну плоскость, которая съюстирована по нормали относительно оптической оси объектива 2 в пределах $\pm 0,1$ мм. После светодиода по ходу лучей установлен интерференционный светофильтр 5, размер которого влияет на увеличение оптического пути до 0,7 мм. Наблюдаемая в микроскоп, через фильтр, излучающая площадка светодиода, посредством подвижек светодиода, приводится в плоскость наилучшего изображения. Микроскоп (без изменения фокусировки) перемещается параллельно плоскости наилучшего изображения в направлении матрицы ПЗС-камеры GRAS20 фирмы “Ophir-Spiricon” (Израиль), при этом фоточувствительный слой матрицы также должен находиться в плоскости наилучшего изображения для микроскопа. За объективом на подвижном основании установлено автоколлимационное плоское зеркало 1 со световым диаметром 345 мм и точностью формы $N=0,3$ и $\Delta N=0,1$. Посредством юстировочных подвижек зеркала 1 автоколлимационное изображение светодиода приводится в центр матрицы.

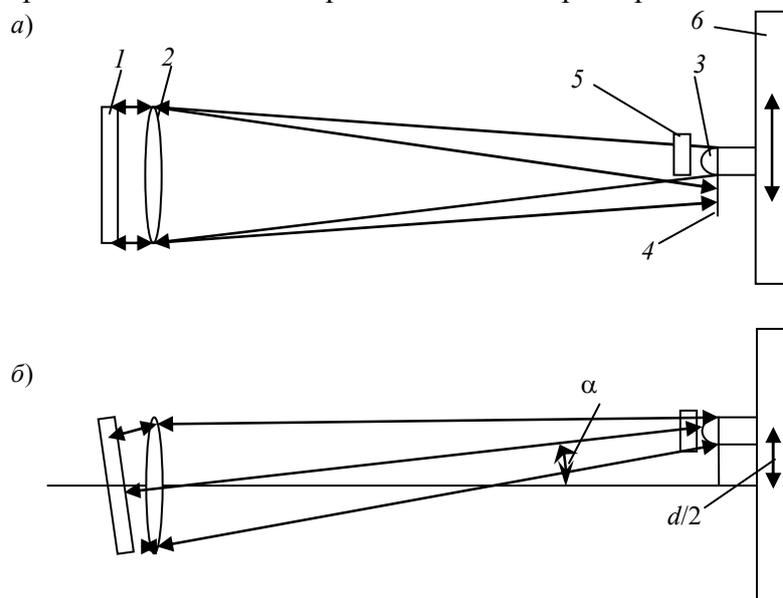


Рис. 2

Жесткая конструкция светодиод—матрица—интерференционный фильтр перемещается вдоль оптической оси объектива до получения четкого изображения излучающей площадки светодиода на матрице (рис. 3) ПЗС-камеры. Для наведения изображения использовался электронный инструмент программного обеспечения его захвата и обработки (на рисунке показан штриховыми линиями в центре); „провал“ в центре изображения обусловлен наличием электрода. Положение плоскости наилучшего изображения найдено с неопределенностью $\pm 0,1$ мм.

Необходимо отметить, что конструкция светодиод—матрица—интерференционный фильтр установлена на универсальный суппорт, позволяющий настраивать ее по трем координатам. Суппорт, в свою очередь, установлен на оптический рельс 6 (см. рис. 2, а), обеспечивающий передвижение суппорта перпендикулярно оптической оси объектива. Такая установка

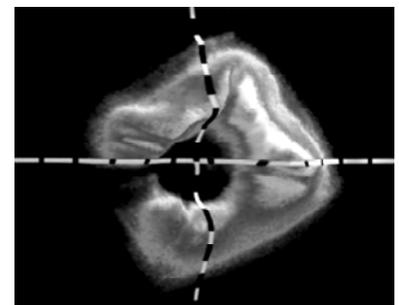


Рис. 3

позволила реализовать методику измерения фокусного расстояния объектива „Апо-Марс-7“ на длине волны 1,064 мкм.

Если передвигать конструкцию светодиод—матрица—интерференционный фильтр по оптическому рельсу в плоскости наилучшего изображения от условного нулевого положения (на оптической оси объектива), то, разворачивая зеркало I (см. рис. 2, a), можно компенсировать это линейное смещение, так чтобы изображение на матрице оставалось неподвижным в пределах менее 1 пиксела, равного $4,4 \times 4,4$ мкм. Тогда фокусное расстояние можно определить по формуле

$$f = d / (2 \operatorname{tg}(\alpha/2)),$$

где d — линейное смещение по оптическому рельсу; α — угол разворота автоколлимационного зеркала.

Измерение величины d осуществляется с помощью отсчетного устройства со стандартной неопределенностью $\pm 0,1$ мм, а наведение конструкции с точностью до 1 пиксела производится путем микроподвижки зеркала, при этом угол его разворота α измеряется автоколлимационным теодолитом ЗТ2КА со стандартной неопределенностью $\pm 2''$.

Измеренные значения d , α , f приведены в таблице. Среднее арифметическое значение $f = 1801$ мм, а расширенная неопределенность для доверительной вероятности 0,95 составляет ± 2 мм. Таким образом, результат измерения фокусного расстояния объектива „Апо-Марс-7“ на длине волны 1,064 мкм можно представить в виде $f = 1801 \pm 2$ мм.

d , мм	α	f , мм
165,5	5° 15' 20"	1803
166,0	5° 17' 08"	1798
162,0	5° 09' 01"	1801
161,0	5° 07' 02"	1801
161,0	5° 07' 22"	1800
160,0	5° 05' 15"	1801
161,5	5° 07' 56"	1802
160,0	5° 05' 15"	1801

Необходимо более подробно пояснить, что величина d — это смещение конструкции светодиод—матрица—фильтр в плоскости наилучшего изображения в пределах $\pm d/2$ от оптической оси объектива. На рис. 2, b показано смещение в одну сторону от оптической оси (чтобы не перегружать рисунок), а в таблице — полное смещение d .

Достигнутую неопределенность можно проанализировать с учетом технических требований к юстировке лазерного высотомера. Согласно работе [7] конечная неопределенность при измерении углов расхождения боковых пучков излучения лазерного высотомера относительно центрального пучка определяется в основном неплоскостностью базового стола координатно-измерительной машины, неплоскостностью базового основания лазерного высотомера и неопределенностями автоколлимационных приборов: трубы ЮС-107 и теодолита ЗТ2КА. В случае уменьшения этих неопределенностей более, чем в два раза они будут соизмеримы с неопределенностью измерения фокусного расстояния, ограничение которой в данной схеме зависит от неопределенности положения плоскости наилучшего изображения, составляющей $\pm 0,1$ мм. Можно рассмотреть относительные неопределенности, составляющие неопределенность измерения фокусного расстояния: неопределенность измерения линейного смещения $\delta d = 0,1/160 = 0,0006$ и неопределенность измерения угла $\delta \alpha = 2/18315 = 0,0001$. Измерение величины d с неопределенностью 0,01 мм при современном уровне техники не представляет трудности, тогда как стандартная неопределенность измерения углов теодолитами или подобными приборами в редких случаях составляет менее $2''$. Таким образом, при достаточно малых материальных затратах конечную неопределенность измерения фокусного расстояния вышеописанным способом можно уменьшить более, чем в четыре раза — до значения

$\pm 0,4$ мм. Этого вполне достаточно, так как при использовании способа юстировки лазерного высотомера и измерений его параметров, изложенного в работе [9], неопределенность измерения фокусного расстояния значительно меньше неопределенности измерений остальных параметров.

Сравним полученные результаты с результатами измерения фокусных расстояний известными способами [1, 3, 4]. Например, в работах [1, 4] неопределенность измерения фокусного расстояния в относительной мере составляет от 0,1 до 0,02 %. При использовании предлагаемого способа это значение равно $2/1797=0,001=0,1$ %, если не прибегать к более точным измерениям величины d , и равно 0,02 %, если измерять d с неопределенностью 0,01 мм. Эти оценки также сравнимы с неопределенностью измерений фокусных расстояний различными способами, описанными в работе [3]: 0,1...0,01 %.

Рассмотрим условия, при которых предложенный способ измерения фокусного расстояния может быть реализован.

1. Источник излучения и его автоколлимационное изображение должны находиться в поле зрения объектива при всех измеряемых значениях d . При линейных размерах светодиодов 1 мм и более, а матриц — 5 мм и более минимальное ограничение линейного поля зрения составляет не менее десятка миллиметров.

2. Плоскость наилучшего изображения наблюдается с помощью матричного приемника, что накладывает особые ограничения, так как изображение на матричном приемнике, при наблюдении в псевдоцветах, в некоторых случаях может отличаться от ожидаемого.

3. Установка источника излучения и плоскости матричного приемника в единую плоскость ограничена глубиной резкости микроскопа, связанной, в свою очередь, с его рабочим расстоянием, большое значение которого предпочтительно для наблюдения и фиксации изображения.

4. Перемещение конструкции светодиод—матрица—интерференционный фильтр в пределах d не должно приводить к ее уходу из плоскости наилучшего изображения.

Таким образом, как следует из вышеизложенного, рассмотренный способ измерения фокусного расстояния предпочтителен для длиннофокусных объективов с линейными полями зрения, достаточными для размещения как источника излучения, так и матричного приемника.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. ГОСТ 13095-82. Объективы. Методы измерения фокусного расстояния. М.: Изд-во стандартов, 1982.
2. Афанасьев В. А. Оптические измерения: Учебник для вузов. М.: Высш. школа, 1981. 229 с.
3. Пизюта Б. А., Михайлов И. О. Новые оптико-электронные приборы для оптических измерений: Учеб. пособие. Новосибирск: СГГА, 1996. 77 с.
4. Кирилловский В. К. Оптические измерения: Учеб. пособие. СПб: СПбГУ ИТМО, 2005. Ч. 3. 67 с.
5. Афанасьев В. А., Жилкин А. М., Усов В. С. Автоколлимационные приборы. М.: Недра, 1982. 144 с.
6. Пат. 2072217 РФ. Способ определения фокусного расстояния длиннофокусных оптических систем и устройство для его осуществления / В. И. Мещеряков, О. К. Филиппов, М. И. Синельников. 1997.
7. Пат. 2408862 РФ. Способ определения фокусного расстояния оптической системы / С. В. Зуев. 2011.
8. Evaluation of Measurement Data — Guide to the Expression of Uncertainty in Measurement [Электронный ресурс]: <<http://www.bipm.org/en/publications/guides/>>.
9. Ершов А. Г. Измерительная система координат космического лазерного высотомера-вертиканта, метод юстировки и анализ неопределенностей. // Вестн. ФГУП „НПО им. С. А. Лавочкина“. Космонавтика и ракетостроение. 2012. № 5. С. 73—79.
10. Kuvaldin E. V., Ershov A. G., Zakharenkov V. F., Polyakov V. M., Arhipova L. N. Testing unit for laser rangefinder // Proc. of SPIE. 2010. Vol. 7544. P. 754457.

11. Способ определения плоскости наилучшего изображения автоколлимационным методом / Ершов А. Г. Заявка на изобретение № 2011100518 РФ. 2012.

Сведения об авторе

Александр Георгиевич Ершов — „ГООИ им. С. И. Вавилова“; ст. научный сотрудник; E-mail: ers@npgoi.ru, alexer61@mail.ru

Рекомендована Институтом

Поступила в редакцию
11.02.15 г.

Ссылка для цитирования: Ершов А. Г. Автоколлимационный способ измерения фокусного расстояния объектива // Изв. вузов. Приборостроение. 2015. Т. 58, № 7. С. 537—542.

AUTOCOLLIMATION METHOD FOR MEASURING THE FOCAL DISTANCE OF A LENS

A. G. Ershov

S. I. Vavilov State Optical Institute, 199053, Saint Petersburg, Russia
E-mail: ers@npgoi.ru

An autocollimation method for measuring the focal distance of a long-range lens Apo-Mars-7 at the wavelength of 1.064 μm is described. Factors affecting the final measurement uncertainty are considered. Limitations of the method application to other wavelengths and lenses are specified.

Keywords: focal distance, measurement, uncertainty.

Data on author

Aleksander G. Ershov — S. I. Vavilov State Optical Institute; Senior Researcher;
E-mail: ers@npgoi.ru, alexer61@mail.ru

Reference for citation: Ershov A. G. Autocollimation method for measuring the focal distance of a lens // Izvestiya Vysshikh Uchebnykh Zavedeniy. Priborostroyeniye. 2015. Vol. 58, N 7. P. 537—542 (in Russian).

DOI: 10.17586/0021-3454-2015-58-7-537-542

О СТЕРЕОСКОПИЧЕСКОМ МЕТОДЕ ИЗМЕРЕНИЙ

С. Н. ГУЗЕВИЧ

*Государственный научно-исследовательский навигационно-гидрографический институт МО РФ,
199106, Санкт-Петербург, Россия
E-mail: guzevich@yandex.ru*

Представлен анализ стереоскопического метода измерений. Обоснована причина систематической погрешности измерений параметров электромагнитных полей при использовании одного измерителя. Выведены геометрическая и временная зависимости при реализации стереоскопического метода для определения положения и размеров объектов. Полученные зависимости совпадают по характеру построения и использованию принципа общей относительности, связывающего размеры образов и объект.

Ключевые слова: *стереоскопический метод, отображение, измерение, парная проективная система координат.*

Модель зрительных измерений, рассмотренная в работе [1], основана на методе центрального проецирования образов объектов с использованием парной проективной системы координат. Эта система реализуется с помощью двух измерителей, разнесенных по базе, где геометрические и электромагнитные модели описания оптических измерений совпадают.

Существующие модели зрительных и оптических измерений базируются на „основных законах оптических явлений“ [2], отображают процесс передачи информации приближенно и не совпадают с ее реальным распространением.

Основой описания полученной информации с помощью зрительного процесса являются образы объектов. Измерения расстояний между объектами с помощью двух оптических измерителей хорошо известны и носят название стереоскопических. Необходимость повышения точности оптических и электромагнитных измерений выявила трудности при использовании как геометрической, так и электромагнитной модели для измерений расстояний.

Стереоскопический метод обеспечивает наиболее точные измерения расстояний между объектами. Свойства электромагнитных полей не зависят от используемого технического средства измерений, однако в настоящее время результаты измерений разными техническими средствами описываются разными зависимостями [2, 3].

В геометрической оптике при использовании стереоскопического метода объект рассматривается как точечный, а наблюдатель имеет измерительную базу в виде двух точек, соединенных прямой. Тогда расстояние от базы наблюдателя до объекта оценивается как

$$L = \frac{d}{2} \cdot \operatorname{ctg}(\alpha / 2), \quad (1)$$

где d — измерительная база наблюдателя, α — параллактический угол.

При измерении параметров электромагнитных полей стереоскопический метод рассматривают как дополнительный к „временному“ методу. При этом применяются два измерителя, разнесенные в пространстве. Для повышения точности измерений используется дополнительная оценка временного сдвига двух принимаемых сигналов (фазового или частотного), одновременно измеренных в двух точках на известном расстоянии.

В электротехнике основным параметром является скорость распространения информации (света), измерения основаны на использовании времени и являются относительными, хотя скорость распространения информации в общем случае зависит от изменения параметров

окружающей среды, а в качестве дополнительного фактора используется сравнение фаз двух сигналов.

Таким образом, имеются два подхода к использованию стереоскопического метода измерений.

Рассмотрим на примере работы локатора влияние характера пространственного распространения сигнала на точность измерения расстояний при допущении о постоянстве скорости его распространения [4]. На рис. 1 показана модель излучения локатора C при некотором постоянном угле $\Delta\beta$ раскрытия антенны. Локатор освещает приближающийся к нему объект размером a , который находится в зоне излучения. Отображение объекта a на различных расстояниях R_i от локатора формируется на плоскости $\Gamma\Omega$ экрана в ортогональной системе координат $\Gamma Y\Omega$. При локационных измерениях информационным параметром является амплитуда A_i принимаемого сигнала, график изменения которой в процессе движения объекта вдоль оси Y также показан на рис. 1. Точка перегиба графика является границей разделения зон локации.

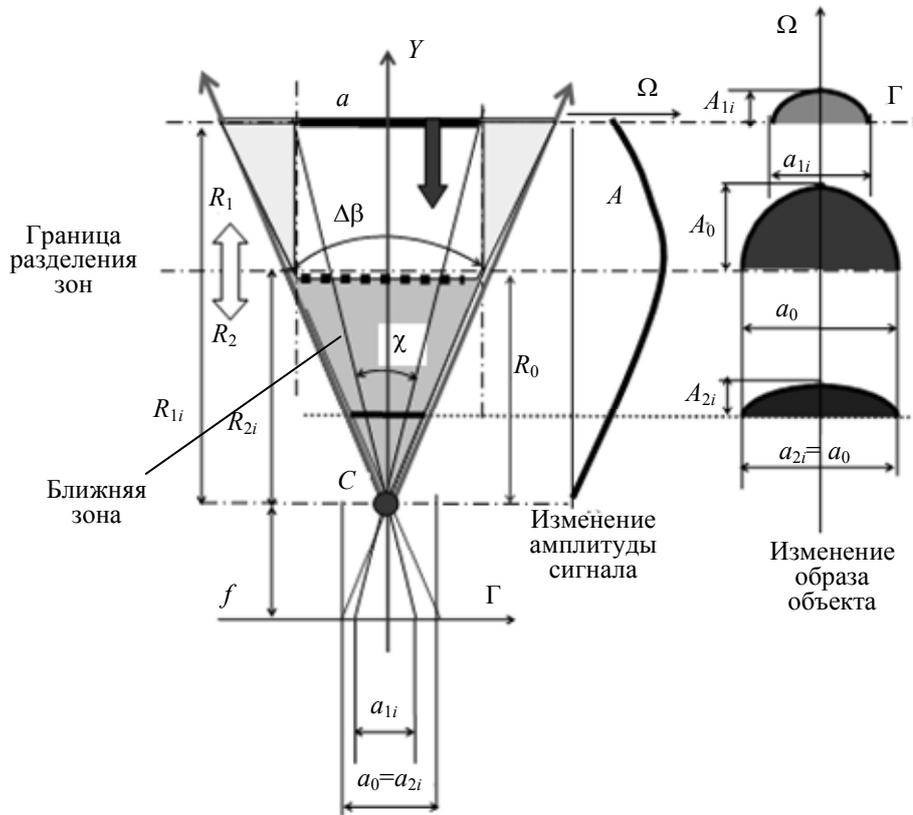


Рис. 1

Рассмотрим локационный процесс измерений в каждой из зон. В геометрическом приближении локационный процесс описывается с помощью лучей, исходящих из локатора в секторе угла $\Delta\beta$ раскрытия антенны и угла χ обзора объекта [4, 5]. При приближении объекта его проекция a_{1i} увеличивается пропорционально углу „засветки“ объекта, т. е. линейно от R_{1i} . При этом величина R_{1i} определяется по изменяющемуся углу χ :

$$a_{1i} = a \frac{f}{R_{1i}} = f \operatorname{tg} \chi; \quad R_{1i} = a \operatorname{ctg} \chi, \tag{2}$$

где f — расстояние от экрана до центра измерителя.

При этом справедливо соотношение

$$\frac{\operatorname{ctg} \chi}{\operatorname{ctg} \Delta\beta} = \frac{R_{1i}}{R_0},$$

где R_0 — расстояние, при котором раскрыв антенны сопоставим с размером объекта a .

При постоянной скорости распространения сигнала (V) время наблюдения определяется частотой сканирования луча по кругу [4], тогда можно записать:

$$R_0 = Vt_0, \quad R_{1i} = R_0 \frac{t_{1i}}{t_0} = Vt_{1i}, \quad (3)$$

где t_{1i} — интервал времени, принятый за эквивалент угла χ .

Из выражения (2) следует тождественное равенство

$$\frac{\operatorname{ctg} \chi}{\operatorname{ctg} \Delta\beta} = \frac{R_{1i}}{R_0} = \frac{Vt_{1i}}{Vt_0} = \frac{t_{1i}}{t_0}.$$

Пространство, для которого справедливо равенство (1), назовем дальней зоной локации. При приближении объекта размер отображения a_{1i} увеличивается в соответствии с выражением (1), что обеспечивает пропорциональное изменение амплитуды A_{1i} сигнала:

$$A_{1i} \equiv k_{\Phi} a_{1i}^2 = k_{\Phi} (f \operatorname{tg} \chi)^2, \quad (4)$$

где k_{Φ} — коэффициент формы объекта; при этом потенциал принимаемого сигнала U_{1i} определяется как

$$U_{1i} = A_{1i} a_{1i} = k_{\Phi} a_{1i}^3 = k_{\Phi} (f \operatorname{tg} \chi)^3. \quad (5)$$

Сигнал, поступающий на локатор C , зависит от углов χ и $\Delta\beta$ и расстояния R_i .

Преобразуем сферическую систему координат в декартову, в которой время определяется циклом углового сканирования:

$$t_i = \frac{2\pi - \chi}{\omega} = \frac{1}{F} \left(1 - \frac{\chi}{2\pi} \right),$$

где F и ω — частота и угловая частота сканирования.

Тогда угол χ может быть интерпретирован как оценка времени углового сканирования по поверхности объекта, а угол $\Delta\beta$ — как интервал времени облучения объекта. При приближении объекта угол χ изменяется от 0 до π со скоростью, зависящей от частоты сканирования, но после обеспечения равенства $\chi = \Delta\beta$ значение сигнала, отраженного от объекта, становится постоянным. Эту область измерений назовем „ближней зоной объекта“ (см. рис. 1). Размер отображения a_{2i} в ближней зоне остается постоянным, так как размер зоны определяется только углом раскрытия антенны:

$$a_{2i} = R_{2i} \operatorname{tg} \Delta\beta = \frac{R_{2i}}{R_0} a_0. \quad (6)$$

Следовательно, размер отображения объекта a_{2i} не зависит от угла χ и времени; амплитуда A_{2i} отраженного сигнала также не зависит от времени, т.е.

$$U_{2i} = A_{2i} a_{2i} = k_{\Phi} a_{1i}^3 = k_{\Phi} (R_{2i} f \operatorname{tg} \Delta\beta)^3. \quad (7)$$

Как видно из выражений (6), (7), ни один из параметров, характеризующих отображение объекта, не зависит от угла χ обзора объекта и от времени.

При использовании одного приемника расстояние, равное $R_0 = a \operatorname{ctg} \Delta\beta$, является систематической погрешностью измерений, случайно изменяющейся и во времени, и в пространстве, так как размер наблюдаемого объекта изменяется в зависимости от взаимной ориентации объекта и локатора.

Все результаты измерений параметров электромагнитных полей с использованием одного приемника содержат систематическую погрешность, которая может достигать величин, до сотни раз превышающих размеры наблюдаемого объекта (для телескопов при $\Delta\beta = 1'$ $\operatorname{ctg} \Delta\beta \approx 10^{-4}$, тогда расстояние до космических объектов оценивается с погрешностью, превышающей размеры этих объектов в 10^4 раз).

Результаты анализа погрешностей могут быть применимы к любым измерительным устройствам. Различие заключается лишь в том, что при измерении сигналов антенн, размеры которых зависят от частоты, углы наблюдений и раскрытия антенн известны и постоянны.

Наличие систематической погрешности при использовании технических средств измерений является основанием для утверждения, что отображение информации техническими средствами и зрительными средствами осуществляется по близким, но не совпадающим измерительным схемам.

Определим условия, при которых геометрическое приближение достоверно и точно отображает рассматриваемые процессы.

В стереоскопической системе координат (СК) формируются два плоскостных изображения объекта [2]. Для использования стереоскопической СК достаточно направить ось Y на наблюдаемый объект (рис. 2, а). Проведем через измерители — антенны 1 и 2 — две вспомогательные оси Y_1 и Y_2 . Из точек 1 и 2 через границы углов χ_{1i} и χ_{2i} обзора объекта проведем лучи, которые „смотрят“ на объект, что может быть реализовано, когда углы γ_1 и γ_2 раскрытия антенн больше углов обзора объекта. Углы γ_1 и γ_2 определяют границы обзора антенн локатора. В результате формируются три системы координат XOY , $X_1O_1Y_1$ и $X_2O_2Y_2$, при этом СК $X_1O_1Y_1$ и $X_2O_2Y_2$ связаны с реальными измерителями, а СК XOY не имеет конкретного измерителя и является фиктивной. Для реальных антенн сохраняются все свойства одиночных, в том числе и наличие ближней зоны, а значит, и систематической погрешности измерений.

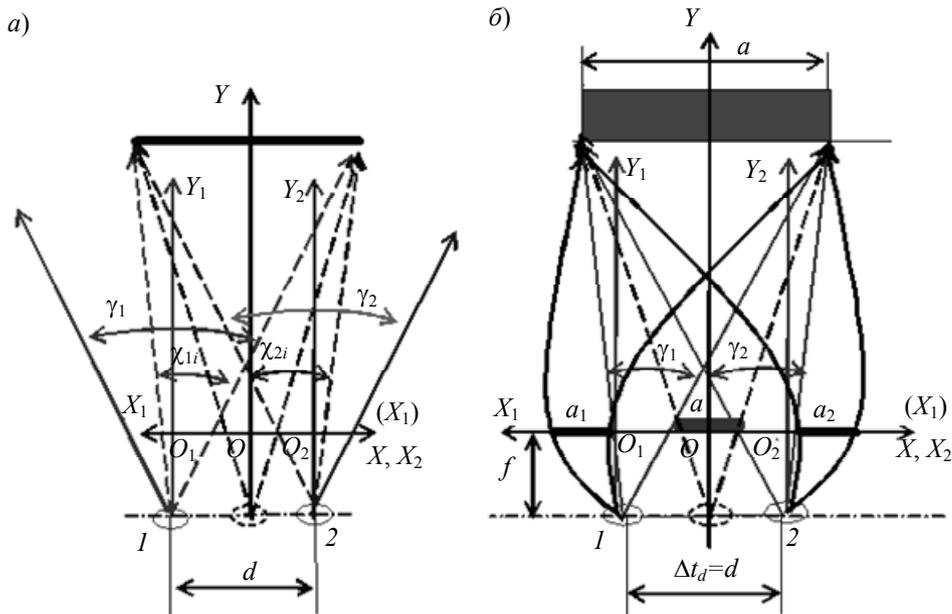


Рис. 2

Следовательно, суммирование реальных изображений объектов обеспечивает получение их пространственного отображения, но при этом исключает точное измерение расстояний между объектами по их отображениям.

Стереоскопическая система координат обладает двойными свойствами, которые действуют в пространстве между измерителем и источником поля, модельно разделяя процессы измерения и наблюдения. При этом возникает вопрос, какую базу необходимо использовать для определения положения и размеров объекта при геометрическом описании. Для ответа на этот вопрос рассмотрим схему, представленную на рис. 3. Анализ данной модели приведен в работе [1], где получены выражения

$$\frac{\Gamma_2}{L+f} = \frac{d}{L}; \quad L = \frac{fd}{\Gamma_2 - d} = \frac{f}{\Gamma_2/d - 1}; \quad D = D_2 \frac{L}{f} = \frac{D_2}{\Gamma_2/d - 1}. \quad (8)$$

Здесь $(\Gamma_2/d - 1)$ — относительное изменение размера базы по оси Γ .

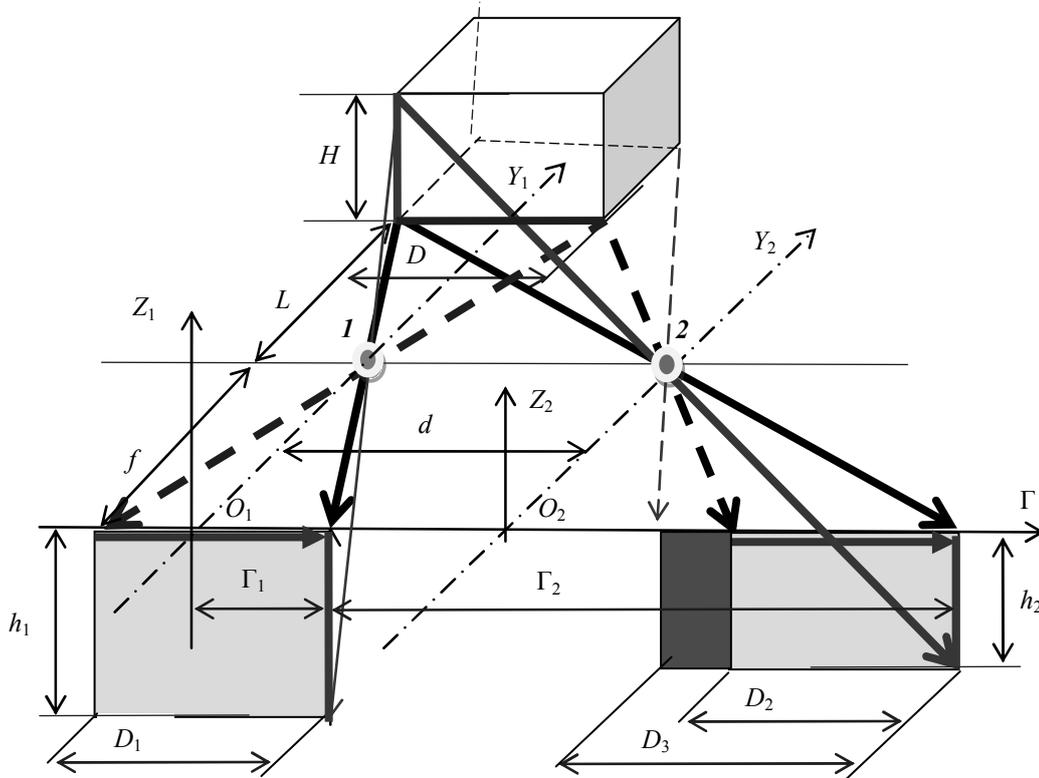


Рис. 3

Таким образом, в стереоскопической системе координат при геометрическом описании результаты измерений основываются не на размере базы, а на относительном изменении проекции размера базы на ось Γ через точки проецируемых сторон. Формула (1), используемая для описания расстояний стереоскопическим методом, содержит систематическую погрешность измерений, тогда как выражение (8) основано на разности размеров трансформации базы, что исключает систематическую погрешность измерений. Это показывает, что стереоскопическая система координат разделяет процессы пространственного отображения объекта и определения его положения.

Рассмотрим влияние скорости распространения сигнала на результаты измерений при отображении объекта в фиктивной системе координат (см. рис. 2, б). При этом для конкретности примем, что $d < a$. Для СК $X_1O_1Y_1$ и $X_2O_2Y_2$ скорости распространения сигнала могут быть произвольными, но равными между собой (что справедливо, так как измерительная база d значительно меньше расстояния до объекта). В этих СК изменения скорости могут быть описаны гиперболическими функциями. Приведение этих функциональных зависимостей к системе координат XOY дает постоянную величину, равную $d/2$. Это характеризует постоянство скорости и влияния окружающей среды на отрезке d как во времени, так и в пространстве. При построении этих функциональных зависимостей на расстоянии f формируются два реальных образа объекта a_1 , a_2 и один фиктивный a в СК XOY .

Стереоскопическая система координат, в которой „осмотр“ пространства выполняется сканирующим лучом, называется парной проективной системой координат [1, 6—9]. Для каждого наблюдаемого отображения в такой системе можно составить одно линейное уравнение, содержащее два неизвестных — расстояние до объекта и его размер. Наличие системы из двух линейных уравнений обеспечивает возможность определения размеров объекта и его положения, при этом база измерений d используется как опорная величина.

Рассмотрим использование параметра времени для определения размеров и положения объекта (рис. 4). Описание процесса измерений в парной проективной системе координат приведено в работе [1], где получены следующие выражения:

$$t_2 = \frac{Z}{V_{23}}; \quad t_3 = \frac{Z+d}{V_{23}}; \quad V_{23} = \frac{d}{|t_3 - t_2|} = \frac{d}{\Delta t_{3-2}}; \quad (9)$$

$$Z = \frac{d_Z t_2}{\Delta t_{3-2}} = \frac{d_Z}{(t_3/t_2) - 1}; \quad X = \frac{d_X t_4}{\Delta t_{3-4}} = \frac{d_X}{(t_3/t_4) - 1},$$

здесь V_{23} — оценка скорости распространения сигнала в направлении локатора; t_2, t_3, t_4 — интервалы времени от момента излучения сигнала до его приема антеннами 2, 3, 4 (см. рис. 4); $\Delta t_{3-2}, \Delta t_{3-4}$ — интервалы времени между характерными точками на измерительных осях.

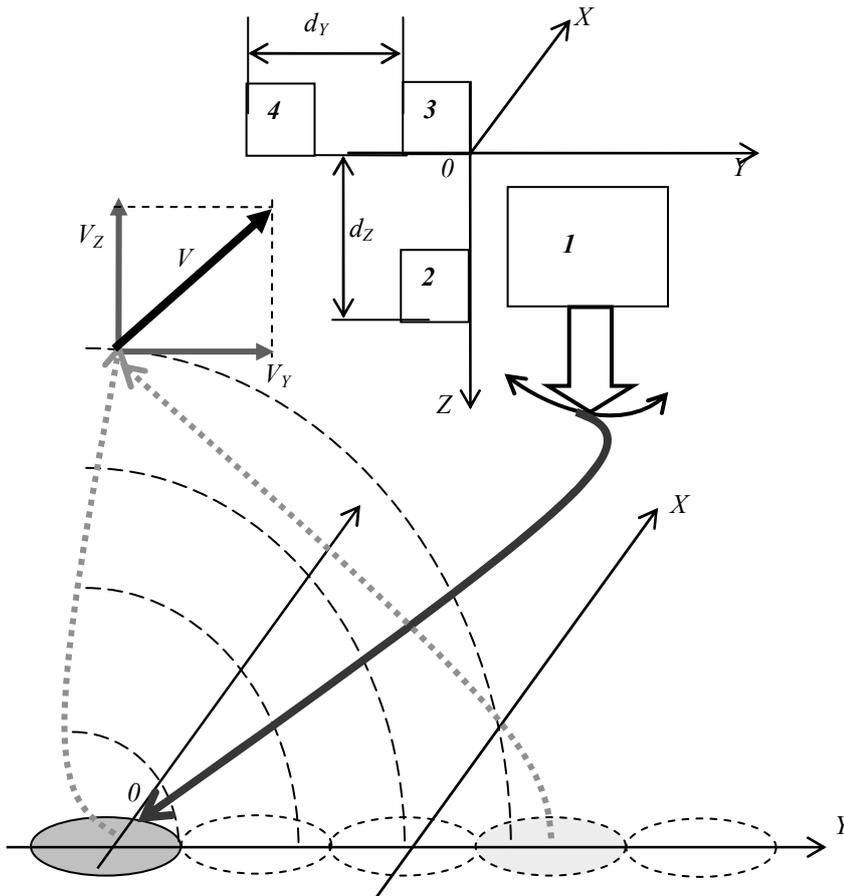


Рис. 4

При обеспечении требуемой дискретности измерений координаты точки отражения сигнала определяются с заданной относительной погрешностью.

Выражения (9) основаны на использовании принципа общей относительности сравнимых временных отрезков, что свидетельствует об их аналогичности выражению (8).

Таким образом, стереоскопическая система координат является отражением природного процесса зрительных измерений, соединение в которой линейного и сканирующего процессов распространения сигнала обеспечивает создание парной проективной системы координат, где зрительные, оптические и электромагнитные модельные зависимости совпадают.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Гузевич С. Н. Модель зрительных измерений // Изв. вузов. Приборостроение. 2015. Т. 58, № 1. С. 66—71.
2. Родионов С. А. Основы оптики. Конспект лекций. СПб: СПб ГИТМО, 2000. 167 с.

3. Лобанов А. Н. Фотограмметрия. М.: Недра, 1984. 552 с.
4. Козлов А. И. Радиолокация. Физические основы и проблемы // Соросовский образовательный журнал. 1996. № 6.
5. Елизаветин И. В., Шувалов Р. И., Буш В. А. Принципы и методы радиолокационной съемки для целей формирования цифровой модели местности // Геодезия и картография. 2009. № 1. С. 39—45.
6. Четверухин Н. Ф. Проективная геометрия. М.: УЧПЕДГИЗ, 1953. 350 с.
7. Гузевич С. Н. О стереоскопической модели измерений расстояний в радиотехнических системах // Радиотехника. Информационно-измерительные и управляющие системы. 2007. № 1. С. 4—9.
8. Гузевич С. Н. О достоверности радиолокационных измерений // Авиакосмическое приборостроение. 2013. № 7. С. 34—43.
9. Гузевич С. Н. Об одной систематической погрешности локационных измерений // Авиакосмическое приборостроение. 2014. № 10. С. 42—50.

Сведения об авторе

Святослав Николаевич Гузевич — канд. техн. наук; ГНИНГИ МО РФ; E-mail: guzevich@yandex.ru

Рекомендована Институтом

Поступила в редакцию
13.01.15 г.

Ссылка для цитирования: Гузевич С. Н. О стереоскопическом методе измерений // Изв. вузов. Приборостроение. 2015. Т. 58, № 7. С. 543—549.

ON STEREOSCOPIC MEASUREMENT METHOD

S. N. Guzevich

*State Scientific-Research Institute of Navigation & Hydrographic, 199106, Saint Petersburg, Russia
E-mail: guzevich@yandex.ru*

The stereoscopic measurement method using optical and electromagnetic meters are analyzed. An explanation for systematic errors in electromagnetic field measurements using a single meter is provided. Geometric and temporal dependencies of object position and size determined with the use of the stereoscopic method are derived. The dependences are shown to coincide with relations between the images and the object size obtained from the general relativity principle.

Keywords: stereoscopic method, display, measurement, conjugate projection coordinate system.

Data on author

Svyatoslav N. Guzevich — PhD; State Scientific-Research Institute of Navigation & Hydrographic; E-mail: guzevich@yandex.ru

Reference for citation: Guzevich S. N. On stereoscopic measurement method // Izvestiya Vysshikh Uchebnykh Zavedeniy. Priborostroyeniye. 2015. Vol. 58, N 7. P. 543—549 (in Russian).

DOI: 10.17586/0021-3454-2015-58-7-543-549

ОБРАЗЦОВЫЕ ИЗЛУЧАТЕЛИ ДЛЯ ПАСПОРТИЗАЦИИ СЕНСОРОВ

Г. Г. ИШАНИН, Н. И. ФАСТОВА

*Университет ИТМО, 197101, Санкт-Петербург, Россия
E-mail: fastova.nata@yandex.ru*

Рассматриваются образцовые излучатели типа „черное тело“, предназначенные для паспортизации различных приборов оптического излучения, в том числе сенсоров и приемников излучения. Описывается методика измерения температуры таких излучателей.

Ключевые слова: черное тело, коэффициент теплового излучения, термостабилизация.

Введение. Черное тело (ЧТ) является эталонным источником потока излучения, так как спектральная плотность его энергетической светимости может быть рассчитана теоретически по формуле Планка с любой степенью точности [1]:

$$M_{e\lambda T}(\lambda T) = C_1 \lambda^{-5} (e^{c_2/\lambda T} - 1)^{-1}, \quad (1)$$

где T — абсолютная температура ЧТ; $C_1 = 3,7413 \cdot 10^{-6}$ Вт·м²; $c_2 = (1,4388 \pm 0,0007) \cdot 10^{-2}$ м·К.

Энергетическая светимость ЧТ M_{eT}^0 в соответствии с законом Стефана — Больцмана пропорциональна четвертой степени его абсолютной температуры:

$$M_{eT}^0 = \sigma T^4, \quad (2)$$

где $\sigma = (5,667032 \pm 0,0007) \cdot 10^{-8}$ Вт/(м²·К⁴) — постоянная излучения Стефана — Больцмана.

Учитывая, что черное тело одновременно с излучением поглощает и энергию падающего на него излучения окружающей среды, закон Стефана — Больцмана следует записать как [1]

$$M_{eT}^0 = \sigma (T^4 - T_{\text{ф}}^4), \quad (3)$$

где $T_{\text{ф}}$ — температура окружающей среды.

Следовательно, для уменьшения погрешности паспортизации приборов оптического излучения необходима стабилизация температуры ЧТ, что позволяет создать постоянный поток излучения (сигнала) для паспортизации, в частности, приемников излучения и оптико-электронных приборов.

Теоретический расчет эффективного коэффициента теплового излучения конуса. В природе абсолютных черных тел не существует. Однако искусственно удастся создать излучатели, свойства которых приближены к свойствам ЧТ. Хорошие результаты достигаются при изготовлении ЧТ на основе конуса с углом φ при вершине, меньшим или равным 15°. Если коэффициент излучения материала конуса $\varepsilon = 0,7 \dots 0,75$ и $\varphi = 5^\circ$, то значение эффективного коэффициента излучения ЧТ будет равно примерно 1 (0,998) [1].

Эффективный коэффициент теплового излучения материала поверхности конуса рассчитывается по следующей приближенной формуле [1]:

$$\varepsilon_{\text{эф}} = 1 - \rho \frac{D^2 / 4l^2}{1 + D^2 / 4l^2}, \quad (4)$$

где D и l — выходной диаметр и длина поверхности конуса соответственно; ρ — коэффициент отражения излучения поверхностью конуса.

Рассчитанные значения эффективного коэффициента теплового излучения материала поверхности конуса при различных отношениях l/D и значениях коэффициента ρ приведены в табл. 1 [1].

Таблица 1

l/D	$\epsilon_{\text{эф}}$ при ρ			l/D	$\epsilon_{\text{эф}}$ при ρ		
	0,5	0,75	0,9		0,5	0,75	0,9
0,25	0,6	0,8	0,92	2	0,970	0,985	0,994
0,5	0,75	0,875	0,95	3	0,986	0,993	0,997
1,0	0,9	0,950	0,98	4	0,992	0,996	0,998

Образцовые излучатели типа „черное тело“. На кафедре оптико-электронных приборов и систем Университета ИТМО разработаны образцовые охлаждаемые водой инфракрасные излучатели типа ИКИ-2-2, состоящие из трех отдельных блоков. На рис. 1 показан общий вид излучателя ИКИ-2-2, где 1 — охлаждаемый термостабилизированной водой излучатель из огнеупорной керамики, работающий в диапазоне температур $T = 600 \dots 1200$ °С; 2 — охлаждаемый излучатель из красной меди, работающий при $T = 50 \dots 100$ °С; 3 — блок управления температурой излучателей 1, 2 и ее стабилизацией.

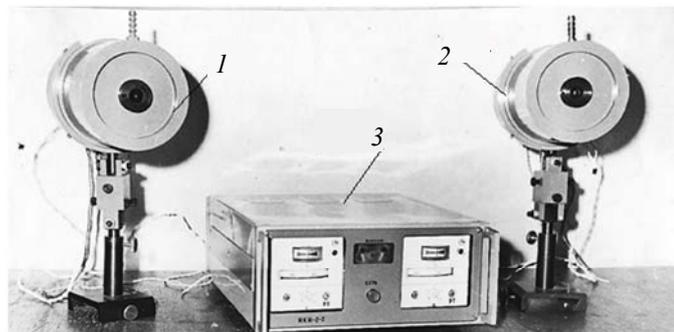


Рис. 1

Конструкция излучателя ИКИ-2-2 из красной меди (см. рис. 1, поз. 2) представлена на рис. 2, где 1 — излучатель; 2 — диафрагма; 3 — термопары; 4 — канавки для охлаждения ЧТ; 5 — изоляция (из слюды); 6 — термостабилизирующая обмотка.

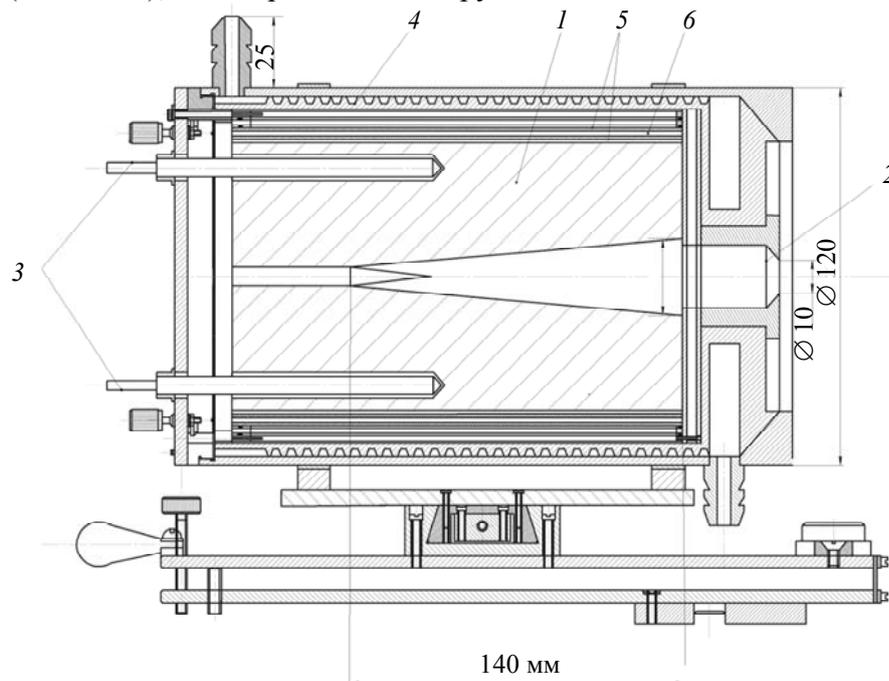


Рис. 2

Основу ЧТ составляет прямой обратный конус, длина которого подбирается экспериментально. Нагревательная спираль с переменным шагом позволяет поддерживать постоянную температуру по всей длине черного тела: на концах спирали, где теплоотвод в атмосферу повышен, ее шаг меньше [2].

Коэффициент теплового излучения материала конуса для ИКИ-2-2 рассчитывается согласно формуле (4) и табл. 1:

$$\varepsilon_{\text{эф}} = 1 - 0,99 \frac{12^2 / 4 \cdot 140^2}{1 + 12^2 / 4 \cdot 140^2} \approx 0,998.$$

Излучатель ТСИД-100, содержащий термостабилизированные излучатель 4 и диафрагму 3, представлен на рис. 3. Для стабилизации температуры излучателя и диафрагмы используются термоэлектрические элементы на эффекте Пельтье. Блоки 1 и 2 управляют нагреванием и охлаждением черного тела и вырабатывают команды на стабилизацию установленной на индикаторе температуры [2]. Термостабилизированная диафрагма, расположенная в непосредственной близости от торца ЧТ, имеет свой индикатор температуры (20—35 °С), устанавливаемой в зависимости от температуры окружающей среды.

Все излучатели снабжены набором сменных диафрагм с диаметром отверстий от 1 до 10 мм.

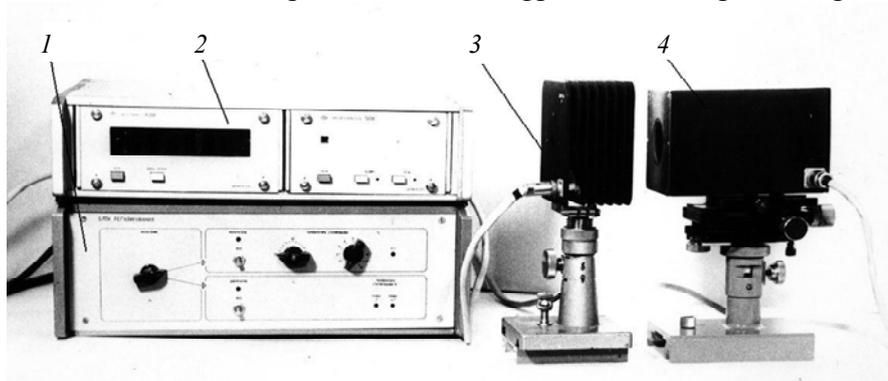


Рис. 3

Представленные излучатели типа „черное тело“ изготовлены на экспериментальном опытном заводе Университета ИТМО для испытательного полигона Филиала Государственного оптического института им. С. И. Вавилова (Санкт-Петербург). Все излучатели прошли проверку по государственному эталону во Всероссийском НИИ метрологии (Санкт-Петербург).

Эксперимент. В ходе эксперимента требовалось проверить результаты термостабилизации излучателя (T_1) по высокоточному цифровому термометру первого класса ДТ-610В с погрешностью измерения 0,010 °С, а также проверить правильность показаний температуры по встроенной шкале излучателя (T_2). Результаты сравнительного анализа температур T_1 и T_2 в зависимости от времени t наблюдения представлены на рис. 4 и в табл. 2.

Для того чтобы измерить температуру полости излучателя (см. рис. 3, поз. 4), необходимо нанести небольшое количество теплопроводящей пасты (КПТ-8) на термопару и через отверстие в корпусе присоединить термопару к поверхности излучателя. Такая паста обычно применяется для обеспечения эффективного теплового контакта между тепловыделяющими элементами электронной схемы и радиатором (теплоотводом).

Погрешность измерения температуры по шкале прибора в режиме стабилизации относительно температуры образцового излучателя составила

$$\Delta\delta = \frac{T_2 - T_1}{T_1} = \left| \frac{91 - 94}{94} \right| \cdot 100\% \approx 3\%.$$

Столь большая погрешность объясняется близким расположением термопар к термостабилизирующей обмотке, которая работает поочередно на нагревание и на охлаждение.

Погрешность установки и измерения температуры T_1 составляет 0,01 %. Для более точного измерения температуры излучателя следует располагать термопары непосредственно на поверхности полости излучателя.

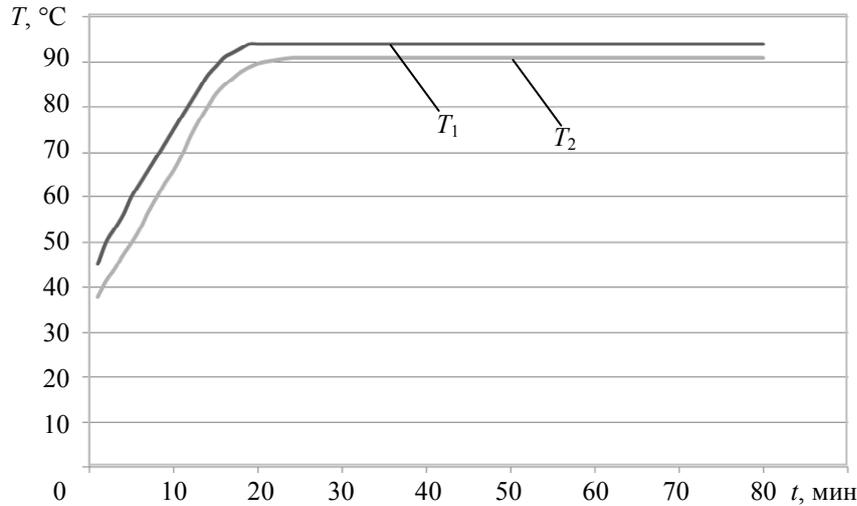


Рис. 4

Таблица 2

t , мин	T_1 , °C	T_2 , °C	t , мин	T_1 , °C	T_2 , °C
1	45	38	14	86	80
2	51	41,5	15	89	83
3	54	44	16	91	85
4	57	47,2	17	92	86,5
5	60	49,9	18	92	88
6	63	53	19	93	89
7	66	56,8	20	94	89,8
8	69	60	21	94	90,2
9	72	63,3	22	94	90,5
10	75	66	23	94	90,8
11	78	69,5	24	94	91
12	81	73,6	⋮	⋮	⋮
13	84	77	80	94	91

При введении поправки на температуру по шкале ДТ-610В (0,01 %) погрешность определения энергетической светимости излучателя ТСИД-100 составила менее 0,01 %. Выход ТСИД-100 на режим стабилизации излучения происходит через 20 мин.

Погрешность установки и измерения температуры по внутренней шкале блока регистрации излучателя ТСИД-100 для всего диапазона измерений (X) рассчитывается по среднему значению температуры T_2 :

$$T_{2cp} = \sum X_i / N = 80,9917$$

и СКО

$$\sigma = \sqrt{\sum (X_i - T_{2cp})^2 / N} = 19,8494,$$

где индекс „ i “ соответствует моменту времени измерения, N — количество сеансов измерений; тогда средняя погрешность составляет

$$\Delta\sigma = \sigma / \sqrt{N} = 2,87.$$

Заключение. Представлена методика измерения температуры разработанных в Университете ИТМО образцовых излучателей типа „черное тело“, предназначенных для паспортизации различных приборов оптического излучения.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Ишанин Г. Г., Козлов В. В. Источники оптического излучения: Учеб. пособие. СПб: Политехника, 2009. 415 с.
2. Хребтова В. П., Фастова Н. И. Анализ черных тел различных модификаций // Альманах научных работ молодых ученых Университета ИТМО. СПб: Ун-т ИТМО, 2014. С. 415—417.

Сведения об авторах

- Геннадий Григорьевич Ишанин** — д-р техн. наук, профессор; Университет ИТМО; кафедра оптико-электронных приборов и систем; E-mail: Ishanin@mail.ru
- Наталья Игоревна Фастова** — студентка; Университет ИТМО; кафедра оптико-электронных приборов и систем; E-mail: fastova.nata@yandex.ru

Рекомендована кафедрой
оптико-электронных приборов и систем

Поступила в редакцию
17.04.15 г.

Ссылка для цитирования: Ишанин Г. Г., Фастова Н. И. Образцовые излучатели для паспортизации сенсоров // Изв. вузов. Приборостроение. 2015. Т. 58, № 7. С. 550—554.

STANDARD EMITTERS FOR CERTIFICATION OF SENSORS

G. G. Ishanin, N. I. Fastova

ITMO University, 197101, Saint Petersburg, Russia
E-mail: fastova.nata@yandex.ru

Standard emitters of the black body type designed for certification of various optical instruments including sensors and detectors of radiation are considered. A method of measuring temperature of the emitters is described.

Keywords: black body, emissivity, heat setting.

Data on authors

- Gennady G. Ishanin** — Dr. Sci., Professor; ITMO University, Department of Optical-Electronic Devices and Systems; E-mail: Ishanin@mail.ru
- Natalia I. Fastova** — Student; ITMO University, Department of Optical-Electronic Devices and Systems; E-mail: fastova.nata@yandex.ru

Reference for citation: *hanin G. G., Fastiva N. I.* Standard emitters for certification of sensors // *Izvestiya Vysshikh Uchebnykh Zavedeniy. Priborostroyeniye.* 2015. Vol. 58, N 7. P. 550—554 (in Russian).

DOI: 10.17586/0021-3454-2015-58-7-550-554

АНАЛИЗ ТОЧНОСТИ ОПРЕДЕЛЕНИЯ ВРЕМЕННОГО ПОЛОЖЕНИЯ СИГНАЛА ДЛЯ СИСТЕМ С МНОГОЭЛЕМЕНТНЫМИ ФОТОПРИЕМНИКАМИ

Е. Н. ЗВЕРЕВА, Е. Г. ЛЕБЕДЬКО

Университет ИТМО, 197101, Санкт-Петербург, Россия

E-mail: e.zvereva@rambler.ru

Представлен анализ точности определения временного положения сигнала на выходе ПЗС-линейки при измерении пространственных координат точечного источника излучения для двух методов временной фиксации — по фронту и по максимуму сигнала.

Ключевые слова: *точность определения временного положения сигнала, спектральная функция сигнала на выходе приемника, погрешности фиксации сигнала по максимуму и по фронту.*

Для оперативного высокоточного определения углового положения точечных источников излучения используются системы с разделением на два равных потока, падающих на ПЗС-линейки с прямоугольными элементами по одной из координат. При этом угловое положение пропорционально временному интервалу от момента считывания с линейки до момента фиксации временного положения сигнала на выходе.

Особый интерес представляет определение угловых координат маломощных источников излучения при работе в пороговом режиме. В этих условиях для обеспечения высокой точности измерений необходимо использовать оптимальный (либо близкий к нему) приемно-усилительный тракт, передаточная функция которого определяется зависимостью

$$K_n(j\omega) = S^*(j\omega)e^{-j\omega t_0} = lS_{\Phi}^*(j\omega)e^{-j\omega t_0}, \quad (1)$$

где $S^*(j\omega)$ — функция, комплексно-сопряженная со спектральной функцией сигнала на выходе фотоприемника; l — коэффициент, учитывающий чувствительность фотоприемника; $S_{\Phi}^*(j\omega)$ — функция, комплексно-сопряженная с соотношением

$$S_{\Phi}(j\omega) = \frac{1}{4\pi^2} \int_{-\infty}^{\infty} \int_{-\infty}^{\infty} \int_{-\infty}^{\infty} S_{\Phi}(j\nu_1, j\nu_2) e^{j[\nu_1\xi(t) + \nu_2\eta(t) - \omega t]} d\nu_1 d\nu_2 dt. \quad (2)$$

Здесь $S_{\Phi}(j\nu_1, j\nu_2) = S_E(j\nu_1, j\nu_2)K_a(j\nu_1, j\nu_2) = S_L(j\beta\nu_1, j\beta\nu_2)K_o(j\nu_1, j\nu_2)K_a(j\nu_1, j\nu_2)$ — спектральная пространственная функция лучистого потока на выходе многоэлементного приемника, являющегося анализатором изображения; $S_E(j\nu_1, j\nu_2)$ — спектральная пространственная функция освещенности на чувствительном слое приемника; $K_a(j\nu_1, j\nu_2)$ — передаточная функция анализатора изображения; $K_o(j\nu_1, j\nu_2)$ — передаточная функция оптической системы; $S_L(j\beta\nu_1, j\beta\nu_2)$ — спектральная функция яркости источника излучения, которая для точечного источника может быть представлена выражением

$$S_L(j\nu_1, j\nu_2) = m_{1I} e^{-j(\nu_1 x_0 + \nu_2 y_0)}, \quad (3)$$

где $m_{1I} = \int_{-\infty}^{\infty} I_0 W(I_0) dI_0$ — среднее значение энергетической силы света I_0 , $W(I_0)$ — плотность распределения вероятностей энергетической силы света.

Оптическая система характеризуется весовой функцией как по способности концентрировать поток излучения, так и по способности распределения энергии в пространстве, при этом так как данные свойства взаимонезависимы, весовую функцию можно представить в виде двух сомножителей:

$$g_o(x, y) = g_o g'_o(x, y).$$

Здесь $g'_o(x, y)$ — импульсная характеристика объектива,

$$g_o = \frac{\pi \tau(\lambda) D_0^2}{D_0^2 + 4 f'^2}, \quad (4)$$

где D_0 — диаметр входного зрачка объектива, $\tau(\lambda)$ — спектральное пропускание оптической системы.

Будем считать, что $\tau(\lambda) = \tau_0$, т.е. не зависит от длины волны в рабочем диапазоне частот.

Для простоты расчетов объектива со сферическими aberrациями весовую функцию целесообразно аппроксимировать гауссовой функцией [1]:

$$g_o(x, y) = g_o \frac{1}{\rho_0^2} \exp\left(-\pi \frac{x^2 + y^2}{\rho_0^2}\right), \quad (5)$$

где ρ_0 — радиус пятна рассеяния, равный примерно 0,5 от максимального значения.

В этом случае передаточная функция объектива

$$K_o(jv_1, jv_2) = g_o \exp\left[-\frac{\rho_0^2}{4\pi} (v_1^2 + v_2^2)\right]. \quad (6)$$

Передаточная функция анализатора с матричным фотоприемником представляет собой передаточную функцию анализатора с линейным сканированием, определяемую как

$$K_a(jv_1, jv_2) = K_{a0}(jv_1, jv_2) \sum_{k=0}^{M-1} \exp[-j(v_1 \xi_k + v_2 \eta_k)], \quad (7)$$

где $K_{a0}(jv_1, jv_2)$ — передаточная функция элементарной ячейки матрицы.

Исходя из предположения, что при M чувствительных элементах линейки, которые имеют форму прямоугольника со сторонами a по оси ξ и b по оси η , расстояния Δ_1 между чувствительными элементами ничтожно малы, передаточную функцию анализатора изображения $K_a(jv_1, jv_2)$ можно представить в виде

$$\begin{aligned} K_a(jv_1, jv_2) &= ab \text{Sa}\left(\frac{av_1}{2}\right) \text{Sa}\left(\frac{bv_2}{2}\right) \frac{\sin\left(\frac{aMv_1}{2}\right)}{\sin\left(\frac{av_1}{2}\right)} e^{-j\frac{a(M-1)v_1}{2}} = \\ &= abM \text{Sa}\left(\frac{aMv_1}{2}\right) \text{Sa}\left(\frac{bv_2}{2}\right) e^{-j\frac{a(M-1)v_1}{2}}, \end{aligned} \quad (8)$$

где $\text{Sa}(x) = \frac{\sin x}{x}$.

Так как считывание с элементов линейки осуществляется с частотой $f_{сч}$, то функция $\xi(t)$ в уравнении (2) определяется выражением

$$\xi(t) = \frac{a}{T}t, \quad T = \frac{1}{f_{сч}}.$$

В этом случае формула (2) принимает следующий вид:

$$S_{\Phi}(j\omega) = \frac{1}{2\pi} \int_{-\infty}^{\infty} \int_{-\infty}^{\infty} S_{\Phi}(j\nu_1, j\nu_2) \left[\frac{1}{2\pi} \int_{-\infty}^{\infty} e^{j\left(\nu_1 \frac{a}{T} - \omega\right)t} dt \right] d\nu_1 d\nu_2, \quad (9)$$

где интеграл в скобках есть интегральное представление дельта-функции, следовательно, используя фильтрующее свойство дельта-функции и формулу $\delta(\alpha x) = \frac{1}{|\alpha|} \delta(x)$, соотношение (9) можно преобразовать к виду

$$S_{\Phi}(j\omega) = \frac{lT}{2\pi a} \int_{-\infty}^{\infty} S_{\Phi}\left(j\frac{\omega T}{a}, j\nu_2\right) d\nu_2, \quad (10)$$

где l — чувствительность фотодетектора.

Таким образом, спектральная функция сигнала на выходе приемника определяется как

$$\begin{aligned} S(j\omega) &= \frac{lT}{2\pi a} \int_{-\infty}^{+\infty} S_L\left(j\beta \frac{\omega T}{a}, j\beta\nu_2\right) K_0\left(j\frac{\omega T}{a}, j\nu_2\right) K_a\left(j\frac{\omega T}{a}, j\nu_2\right) d\nu_2 = \\ &= \frac{lT M b g_0 m_{1l}}{2\pi} \exp\left(-\frac{\rho_0^2 T^2 \omega^2}{4\pi a^2}\right) \exp\left[-j\omega\left(\frac{T\beta x_0}{a} + T\frac{M-1}{2}\right)\right] \times \\ &\times \text{Sa}\left(\frac{M T \omega}{2}\right) \int_{-\infty}^{\infty} \text{Sa}\left(\frac{b\nu_2}{2}\right) \exp\left[-\left(\frac{\rho_0^2}{4\pi} \nu_2^2 + j y_0 \beta \nu_2\right)\right] d\nu_2. \end{aligned} \quad (11)$$

Решение интеграла приводит к следующему соотношению:

$$\begin{aligned} \Psi &= \int_{-\infty}^{\infty} \text{Sa}\left(\frac{b\nu_2}{2}\right) \exp\left[-\left(\frac{\rho_0^2}{4\pi} \nu_2^2 + j y_0 \beta \nu_2\right)\right] d\nu_2 \approx \\ &\approx \frac{4}{b} \exp\left(\frac{\gamma^2}{4\alpha}\right) \cos\left(\frac{\gamma}{4\alpha}\right) \int_0^{\infty} \frac{\sin(bz/2)}{z} \exp(-\alpha z^2) dz = \\ &= \frac{2\pi}{b} \exp\left(-\frac{\pi\beta^2 y_0^2}{\rho_0^2}\right) \text{ch}\left(\frac{\pi\beta y_0}{\rho_0^2}\right) \text{erf}\left(\frac{b\sqrt{\pi}}{2\rho_0}\right), \end{aligned} \quad (12)$$

где $\alpha = \frac{\rho_0^2}{4\pi}$, $\gamma = j\beta y_0$, $z = \nu_2 + \frac{\gamma}{2\alpha}$, $\text{erf}(x) = \frac{2}{\sqrt{\pi}} \int_0^x e^{-t^2} dt$.

С учетом того, что линейное увеличение $\beta \ll 1$, соотношение (12) преобразуется к виду

$$\Psi \approx \frac{2\pi}{b} \operatorname{erf} \left(\frac{b\sqrt{\pi}}{2\rho_0} \right). \quad (13)$$

Так как определяющей спектральную функцию по ширине полосы пропускания является передаточная функция оптической системы, то в формуле (11) заменим M на $M_0 = \frac{\rho_0}{a} \geq 1$. Тогда для спектральной функции сигнала на выходе приемника с учетом выражений (11) и (13) можно записать

$$S(j\omega) = PSa \left(\frac{M_0 T \omega}{2} \right) \exp \left(-\frac{\rho_0^2 T^2 \omega^2}{4\pi a^2} \right) \operatorname{erf} \left(\frac{b\sqrt{\pi}}{2\rho_0} \right) \exp \left[-j\omega \left(\frac{T\beta x_0}{a} + T \frac{M_0 - 1}{2} \right) \right], \quad (14)$$

где $P = lTM_0 g_0 m_{1l}$.

В ходе исследований рассматривались два метода фиксации временного положения сигнала: по максимуму сигнала и по его фронту.

Среднеквадратическая погрешность определения положения сигнала по максимуму $\sigma_{\phi 1}$ в условиях оптимальной фильтрации определяется соотношением [2]

$$\sigma_{\phi 1} = \frac{1}{\left[\frac{2}{\pi G} \int_0^{\infty} \omega^2 |S(j\omega)|^2 d\omega \right]^{1/2}}, \quad (15)$$

где G — энергетический спектр шумов на выходе приемно-усилительного тракта.

С учетом выражения (14) формула (15) принимает следующий вид:

$$\sigma_{\phi 1} = \frac{1,12}{g_0 l m_{1l} \operatorname{erf} \left(\frac{b\sqrt{\pi}}{2\rho_0} \right)} \left[\frac{nG\rho_0 T}{2\sqrt{2} \cdot a} \right]^{1/2}, \quad (16)$$

где коэффициент n учитывает возрастание величины энергетического спектра шума при увеличении размера b .

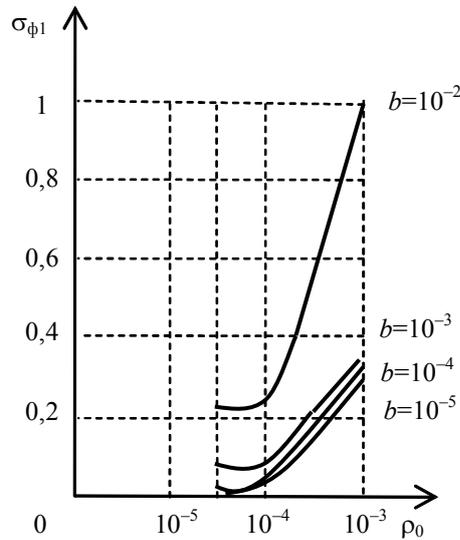
При фиксации сигнала по фронту среднеквадратическая погрешность определяется выражением [3]

$$\sigma_{\phi 2} = \frac{\left[\frac{G}{2\pi} \int_0^{\infty} |S(j\omega)|^2 d\omega \right]^{1/2}}{\frac{1}{\pi} \int_0^{\infty} \omega |S(j\omega)|^2 d\omega} = \frac{1,42}{g_0 l m_{1l} \operatorname{erf} \left(\frac{b\sqrt{\pi}}{2\rho_0} \right)} \left[\frac{nG\rho_0 T}{2\sqrt{2} \cdot a} \right]^{1/2}. \quad (17)$$

Расчеты проводились для частот считывания $f_{сч}$ с элементов линейки, равных 25, 50, 75 и 100 МГц, при частоте следования счетных импульсов генератора 250 и 500 МГц при различных значениях ρ_0 и b .

В качестве иллюстрации на рисунке приведена зависимость $\sigma_{\phi 1}(\rho_0)$ относительной погрешности фиксации по максимуму сигнала $\left(\frac{\sigma_{\phi 1}}{\sigma_{\phi 1 \max}} \right)$ от величины пятна рассеяния при различных размерах b , мм.

Анализ рисунка показывает, что погрешность резко возрастает, если пятно рассеяния превышает размер b больше, чем на порядок. Рост погрешности с увеличением размера b обусловлен увеличением шумов.



Изменение среднеквадратической погрешности фиксации сигнала по фронту имеет аналогичный характер, но в любом случае превышает погрешность $\sigma_{\phi 1}$ в 1,26 раза.

Следует отметить, что в соответствии с формулами (16) и (17) при увеличении частоты считывания и при заданной частоте заполнения погрешность измерения временного интервала возрастает. Таким образом, можно говорить о существовании оптимальных условий при выборе частот заполнения и считывания.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Левшин В. Л. Обработка информации в оптических системах пеленгации. М.: Машиностроение, 1978. 168 с.
2. Лебедько Е. Г. Системы оптической локации: Учеб. пособие. СПб: Ун-т ИТМО, 2012. 128 с.
3. Лебедько Е. Г. Теоретические основы передачи информации. СПб: Лань, 2011. 350 с.

Сведения об авторах

Елена Николаевна Зверева

— Университет ИТМО; кафедра оптико-электронных приборов и систем; ст. преподаватель; E-mail: e.zvereva@rambler.ru

Евгений Георгиевич Лебедько

— д-р техн. наук, профессор; Университет ИТМО; кафедра оптико-электронных приборов и систем; E-mail: eleb@rambler.ru

Рекомендована кафедрой
оптико-электронных приборов и систем

Поступила в редакцию
22.01.15 г.

Ссылка для цитирования: Зверева Е. Н., Лебедько Е. Г. Анализ точности определения временного положения сигнала для систем с многоэлементными фотоприемниками // Изв. вузов. Приборостроение. 2015. Т. 58, № 7. С. 555—560.

ANALYSIS OF ACCURACY OF SIGNAL TIME POSITIONING FOR SYSTEMS WITH MULTI-ELEMENT PHOTODETECTORS

E. N. Zvereva, E. G. Lebedko

ITMO University, 197101, Saint Petersburg, Russia

E-mail: e.zvereva@rambler.ru

The problem of determination of temporal position of CCD ruler output signal used for measuring spatial coordinates of a point radiation source is considered. An analysis of accuracy is carried out for two approaches to signal time positioning — by the signal front, and by the signal maximum occurs.

Keywords: accuracy of signal temporal positioning, spectral function of receiver output signal, errors estimates for signal maximum and front measurements.

Data on authors

Elena N. Zvereva — ITMO University, Department of Optical-Electronic Devices and Systems; Senior Lecturer; E-mail: e.zvereva@rambler.ru
Evgeny G. Lebedko — Dr. Sci., Professor; ITMO University, Department of Optical-Electronic Devices and Systems; E-mail: eleb@rambler.ru

Reference for citation: Zvereva E. N., Lebedko E. G.. Analysis of accuracy of signal time positioning for systems with multi-element photodetectors // *Izvestiya Vysshikh Uchebnykh Zavedeniy. Priborostroenie*. 2015. Vol. 58, N 7. P. 555—560 (in Russian).

DOI: 10.17586/0021-3454-2015-58-7-555-560

ВОЗМОЖНОСТЬ УВЕЛИЧЕНИЯ СРОКА СЛУЖБЫ ВОЛОКОННО-ОПТИЧЕСКИХ ЛИНИЙ СВЯЗИ

И. О. КОСЯКОВ, М. А. ЛИПСКАЯ, А. К. МЕКЕБАЕВА, А. Б. МАТАЕВА

*Казахская академия транспорта и коммуникаций им. М. Тынышпаева,
050012, Алма-Ата, Казахстан
E-mail: m_ard@mail.ru*

Представлено исследование факторов, влияющих на прочность оптического волокна в процессе его эксплуатации. Для увеличения срока службы волоконно-оптических линий связи предложена конструкция кабеля, волокно в котором размещено свободно и имеет запас на относительное удлинение, составляющее 2—5 % от общей длины.

Ключевые слова: оптический кабель, оптическое волокно, прочность оптического волокна, срок службы ВОЛС, прокладка ВОЛС.

Прочность оптического волокна является параметром, непосредственно влияющим на срок службы волоконно-оптических линий связи (ВОЛС), который согласно требованиям должен составлять 25 лет. К важнейшим параметрам долгосрочной работоспособности ВОЛС относится механическая надежность волокна. Именно этот показатель определяет, насколько просто и эффективно можно осуществлять сращивание волокон при изменении конфигурации сети, ремонте и техническом обслуживании. Проведенные в компании “Corning Incorporated” (США) испытания показали, что характеристики прочности оптических волокон в процессе длительной эксплуатации не изменяются [1]. Следовательно, одним из основных параметров при оценке срока службы оптических линий связи является напряжение растяжения волокна.

Прочность оптического волокна, как известно, зависит от приложенного напряжения, которое выражается отношением

$$\sigma = \frac{4F}{\pi d^2}, \quad (1)$$

где F — сила, приложенная к волокну; d — диаметр волокна, тогда долговечность оптического волокна определяется выражением

$$t = t(L, \sigma, P), \quad (2)$$

где L — длина волокна, P — вероятность его разрушения.

В целом можно отметить относительность данных параметров, так как они напрямую зависят от конструкции оптического кабеля, который препятствует приложению напряжения σ к волокну вследствие того, что имеет прочный сердечник в своей основе. Однако с течением времени под воздействием нагрузок на кабель происходит относительное удлинение сердечника и, как следствие, удлинение самого волокна, которое не должно превышать 1 % [2]. Для того чтобы оценить нагрузки, воздействующие на кабель, проложенный в земле, трассу его прохождения можно отобразить схемой (рис. 1), где показаны различные факторы естественного и антропогенного характера, оказывающие давление на оптический кабель. Среди основных факторов следует выделить влияние нагрузки, оказываемой транспортным средством, которая рассчитывается по теории Буссинеска о распределении давления.

Максимальное вертикальное давление возникает непосредственно под точкой приложения нагрузки и определяется уравнением

$$q_T = \frac{0,478T}{H^2}, \quad (3)$$

где T — нагрузка транспортного средства на ось, H — глубина засыпки кабеля.

Также нельзя пренебрегать просадкой грунтов s_{sl} основания при увеличении их влажности:

$$s_{sl} = \sum_{i=1}^n \varepsilon_{sl,i} h_i k_{sl,i}, \quad (4)$$

где $\varepsilon_{sl,i}$ — коэффициент просадки i -го слоя грунта; h_i — толщина i -го слоя; $k_{sl,i}$ — коэффициент, определяемый в соответствии с требованиями СНиП; n — число слоев, на которое разбита зона просадки.

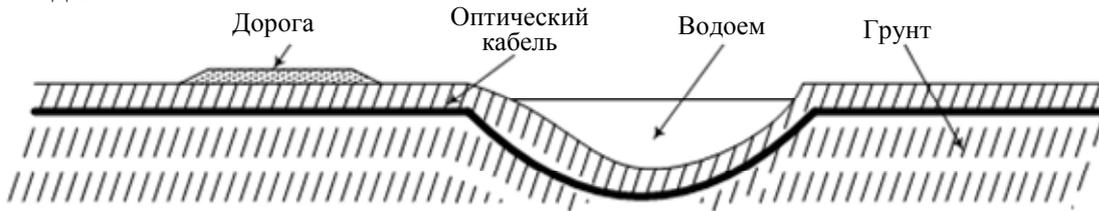


Рис. 1

В результате воздействия вышеупомянутых факторов может возникнуть давление, которое приведет к относительному удлинению кабеля и превышению 1 %-ного лимита удлинения для оптического волокна. Участок кабеля можно промоделировать, используя методику (согласно стандартам ИТУ [3]) испытания оптического волокна с применением подвешиваемого к нему груза.

На рис. 2 буквами A и B обозначены соответственно начало и конец моделируемого участка, а масса m соответствует приложенному напряжению. С течением времени при определенных условиях, таких как повышенная влажность, увеличивающийся поток транспорта, напряжение будет возрастать, и при достижении критического значения σ волокно внутри кабеля разрушится.

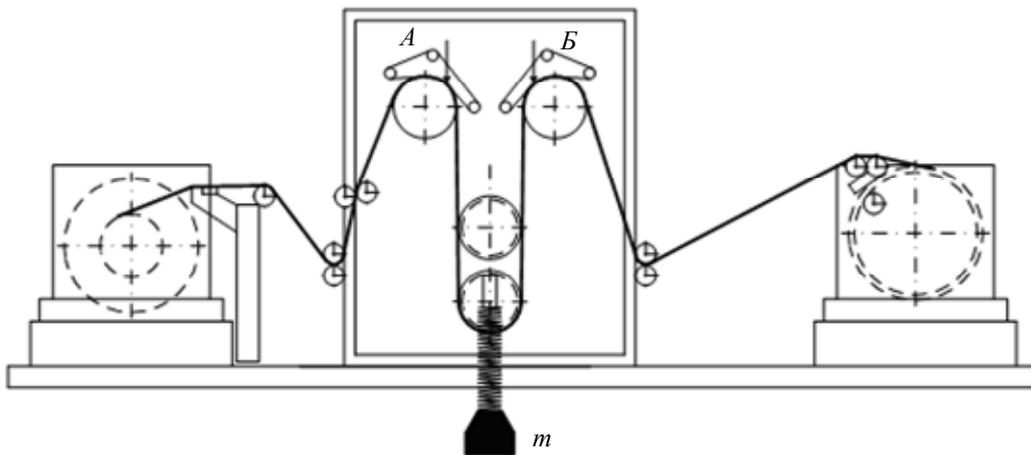


Рис. 2

Решением данной проблемы может быть применение кабеля, волокно в котором размещено свободно и имеет запас на относительное удлинение, при этом длина волокна в кабеле увеличится на величину $L_{доп}$, составляющую не более 2—5 % от общей длины кабеля. Изготовление подобного типа кабеля можно осуществить, размещая оптическое волокно в пластиковой трубке с воздухом. Диаметр трубки должен составлять 200—500 % от диаметра волокна соответственно для 2- и 5 %-ного запаса на относительное удлинение. При использовании

подобного метода волокно располагается не параллельно относительно трубки, а имеет некоторый изгиб, за счет которого и обеспечивается дополнительная длина волокна. Подобный тип кабеля представлен на рис. 3.

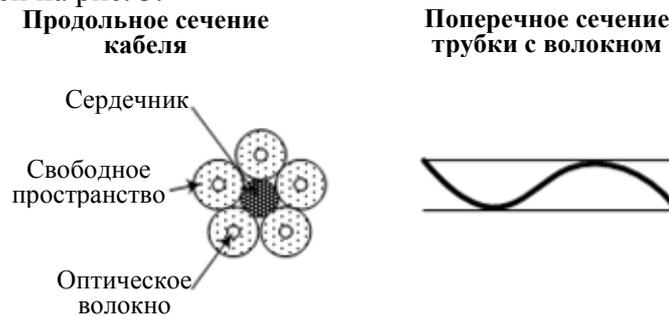


Рис. 3

Свободное пространство внутри кабеля необходимо для беспрепятственного движения в нем оптического волокна в случае удлинения кабеля под воздействием внешних факторов. Предложенная конструкция оптического кабеля позволит пренебречь такими параметрами, как максимальное вертикальное давление и просадка грунта при прокладке кабеля, и существенно снизить нагрузку на волокно. Применение таких кабелей возможно и при прокладке ВОЛС воздушным способом, при котором напряжение σ зависит от массы кабеля.

Результатом использования подобных кабелей может стать значительно увеличение срока службы оптических волокон и волоконно-оптических линий связи в целом.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. www.corning.com/docs/ru/ru/fiber_explotation.pdf.
2. Инденбаум Д., Сироткин С. Самонесущие оптические кабели с вынесенным силовым элементом и оптической частью в виде трубки: недостатки конструкции // Первая миля. 2011. № 4. С. 44—47.
3. ITU-T Recommendation G.650.1 Corrigendum 1 (08/13). 2010.

Сведения об авторах

- Марина Анатольевна Липская** — канд. техн. наук, доцент; Казахская академия транспорта и коммуникаций им. М. Тынышпаева, кафедра радиотехники и телекоммуникаций; E-mail: limaan78@mail.ru
- Ардак Кабдилмантовна Мекебаева** — канд. хим. наук, доцент; Казахская академия транспорта и коммуникаций им. М. Тынышпаева, кафедра радиотехники и телекоммуникаций; E-mail: m_ard@mail.ru
- Айым Бакытовна Матаева** — магистрант; Казахская академия транспорта и коммуникаций им. М. Тынышпаева, кафедра радиотехники и телекоммуникаций; E-mail: aiym_mataeva@mail.ru

Рекомендована кафедрой радиотехники и телекоммуникаций

Поступила в редакцию 13.04.15 г.

Ссылка для цитирования: Косяков И. О., Липская М. А., Мекебаева А. К., Матаева А. Б. Возможность увеличения срока службы волоконно-оптических линий связи // Изв. вузов. Приборостроение. 2015. Т. 58, № 7. С. 561—564.

POSSIBILITY TO EXTEND LIFE CICLE OF FIBER OPTIC COMMUNICATION LINE

I. O. Kosyakov, M. A. Lipskaya, A. K. Mekebaeva, A. B. Mataeva

M. Tynyshpaev Kazakh Academy of Transport and Communications,
050012, Alma-Ata, Kazakhstan
E-mail: m_ard@mail.ru

Factors affecting optical fiber durability during operating are analyzed. A new design of fiber optic cable is proposed to extend the communication line service life. The fibers in the cable are arranged loosely and have enough place for relative elongation of 2—5 %.

Keywords: optical cable, optical fiber, optical fiber durability, fiber optic communication line installation.

Data on authors

- Marina A. Lipskaya** — PhD, Associate Professor; M. Tynyshpaev Kazakh Academy of Transport and Communications, Department of Radio Engineering and Telecommunications; E-mail: limaan78@mail.ru
- Ardak K. Mekebaeva** — PhD, Associate Professor; M. Tynyshpaev Kazakh Academy of Transport and Communications, Department of Radio Engineering and Telecommunications; E-mail: m_ard@mail.ru
- Aiym B. Mataeva** — Graduate Student; M. Tynyshpaev Kazakh Academy of Transport and Communications, Department of Radio Engineering and Telecommunications; E-mail: aiym_mataeva@mail.ru

Reference for citation: *Kosyakov I. O., Lipskaya M. A., Mekebaeva A. K., Mataeva A. B.* Possibility to extend life cycle of fiber optic communication line // *Izvestiya Vysshikh Uchebnykh Zavedeniy. Priborostroyeniye*. 2015. Vol. 58, N 7. P. 561—564 (in Russian).

DOI: 10.17586/0021-3454-2015-58-7-561-564

ТЕПЛОВЫЕ РЕЖИМЫ И НАДЕЖНОСТЬ ПРИБОРОВ И СИСТЕМ

УДК 536.2.08
DOI: 10.17586/0021-3454-2015-58-7-565-570

СОВМЕСТНОЕ ИСПОЛЬЗОВАНИЕ PIV-ТЕХНОЛОГИИ И ГРАДИЕНТНОЙ ТЕПЛОМЕТРИИ

А. А. ГУСАКОВ

*Санкт-Петербургский политехнический университет Петра Великого,
195251, Санкт-Петербург, Россия
E-mail: a.gusakov.spb@mail.ru*

Рассматривается методика использования PIV-технологии визуализации течения и градиентной теплотметрии для совместного (в режиме реального времени) исследования течения и теплообмена. Методика реализована на примере обтекания кругового цилиндра потоком воздуха под различными углами атаки.

Ключевые слова: PIV-технология, градиентная теплотметрия, обтекание цилиндра, скорость, тепловой поток, коэффициент теплоотдачи.

Проблема совместного исследования процессов течения и теплообмена жидкостей и газов хорошо известна, но до последнего времени ее решение сдерживалось отсутствием быстродействующих первичных преобразователей. Ситуация изменилась с появлением градиентных датчиков теплового потока (ГДТП) [1] с постоянной времени, составляющей $10^{-8} \dots 10^{-9}$ с.

В настоящей статье рассматривается методика комплексного исследования этих процессов на примере обтекания кругового цилиндра потоком воздуха под различными углами атаки. Градиентная теплотметрия совмещена с PIV-технологией на установке ПОЛИС [2].

Метод PIV (Particle Image Velocimetry) — это измерение скорости потока частиц по их изображению. Основу двумерной реализации метода PIV составляет измерение величины смещения помещенных в поток частиц (трассеров) за известный интервал времени. Результатом является визуализация мгновенных двухкомпонентных полей скорости в измерительной плоскости, формируемой световым ножом. Основное достоинство PIV-технологии — возможность измерения мгновенных полей скорости бесконтактным методом.

При использовании метода стерео-PIV запись изображения производится двумя фотокамерами (1, 2), направленными с разных сторон на трассеры в световом ноже (рис. 1, а). Каждая камера формирует „плоскую картину“ о векторе скорости частицы. Посредством специальной калибровки системы программа Actual Flow, поставляемая с установкой ПОЛИС, определяет третью компоненту вектора скорости. В картине трехмерного поля скорости (рис. 1, б) поперечная компонента выделяется цветом [3]: при одинаковых числах Рейнольдса в следе, наблюдаемом за нагретым цилиндром, поперечная составляющая вектора скорости больше, чем в следе за цилиндром без нагрева. В рассматриваемом случае цилиндр повернут относительно вектора скорости потока на угол $\beta = 60^\circ$.

Модель цилиндра (рис. 2) выполнена из стального листа толщиной 0,1 мм. Цилиндр обогревается насыщенным водяным паром (с температурой, близкой к 100 °С). ГДТП, изготовленный из монокристаллического висмута, смонтирован на поверхности цилиндра (его

размеры и чувствительность указаны на рисунке). Электромеханический привод позволяет проворачивать цилиндр вокруг оси на угол φ от 0 до 180°. Модель установлена на поворотном столе, что обеспечивает возможность изменения угла атаки β между осью цилиндра и направлением потока.

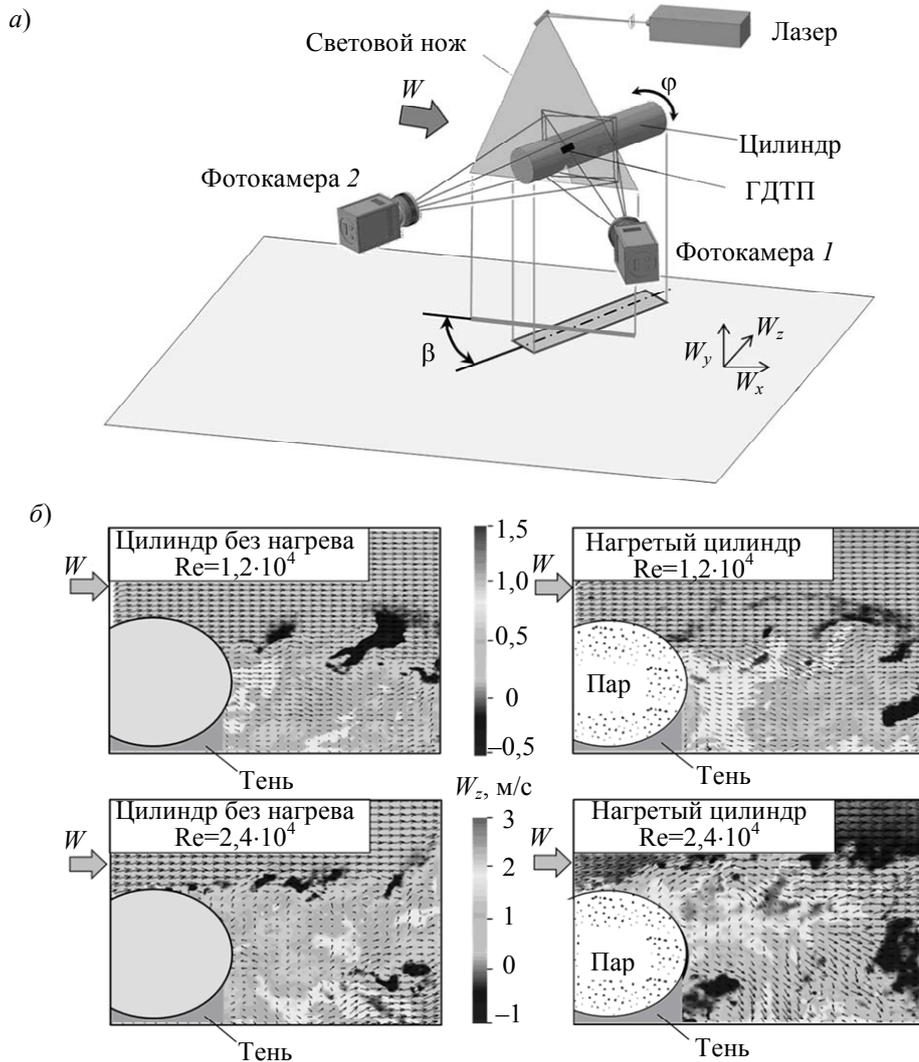


Рис. 1

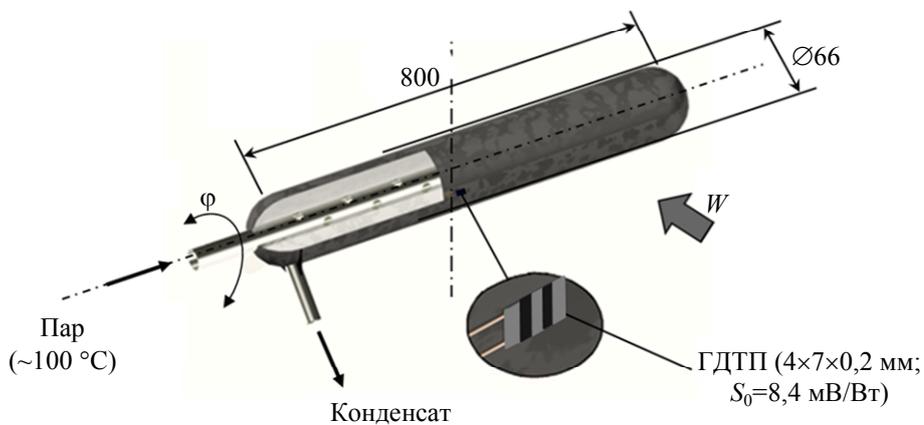


Рис. 2

Эксперимент по реализации предлагаемой методики производился в аэродинамической трубе при поперечном обтекании нагретого цилиндра потоком воздуха со скоростью от 1 до 20 м/с. Степень турбулентности воздушного потока не превышала 0,5 %. Модель была

помещена в камеру Эйфеля из прозрачного материала, что позволяет использовать оптические методы исследования потоков, в том числе и PIV-технологию, без заметного рассеяния дыма. Визуализация и теплотметрия проводились одновременно и непрерывно. Схема экспериментальной установки представлена на рис. 3. Для измерения сигнала ГДТП использовался светолучевой осциллограф Н-145, в котором ртутная лампа заменена на лазер. Луч лазера после отражения от зеркала гальванометра фиксировался цифровой фотокамерой (3), далее сигнал поступал для обработки в компьютер.

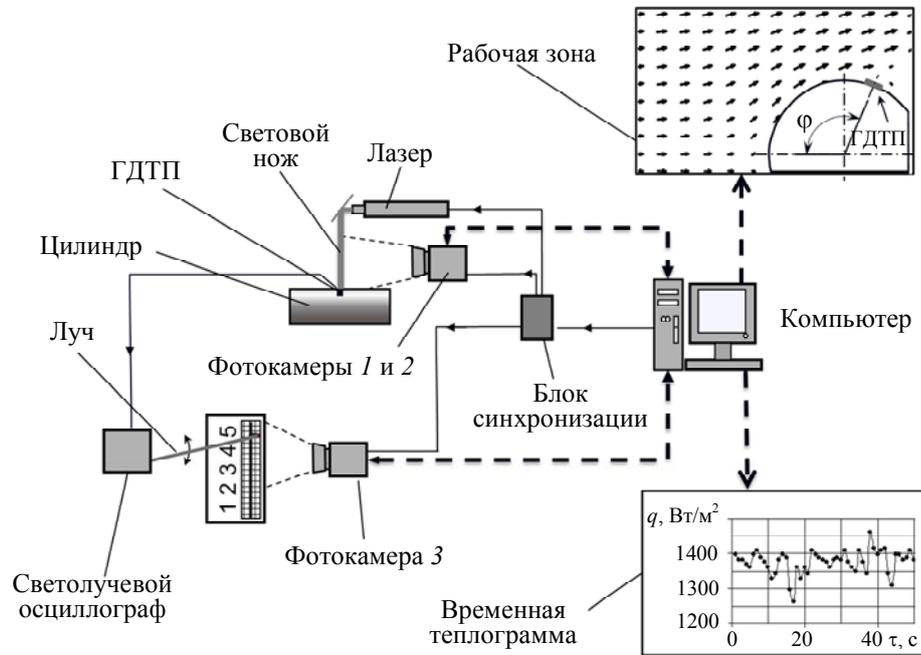


Рис. 3

На рис. 3 также показана зависимость плотности теплового потока от времени ($q(\tau)$) — „временная теплотграмма“, названная так в работе [4] по аналогии с общепринятым термином „временная термограмма“. Таким образом, каждой картине мгновенного поля скорости соответствует показание ГДТП при известном его положении.

Исследования проводились для области чисел Рейнольдса от 10^4 до $8 \cdot 10^5$. За время поворота цилиндра синхронно получено 485 пар фотографий и зафиксированы значения сигналов ГДТП. На основании этих данных сформированы поля скорости и соответствующие им значения плотности локальных (в месте расположения ГДТП) тепловых потоков. На рис. 4 приведены временная теплотграмма и соответствующая ей картина поля скорости (при $\beta = 90^\circ$, $Re = 2,4 \cdot 10^4$). Разброс значений q_ϕ на теплотграмме не связан с неопределенностью градиентной теплотметрии, а показывает значение плотности локального теплового потока в момент измерения поля скорости. Как показала практика, градуировка ГДТП на стенде, описанном в работе [4], обеспечивает суммарную стандартную неопределенность, не превышающую 1 %.

Наибольший интерес представляют эксперименты, когда цилиндр находится под различными углами атаки β к потоку W ($\beta = 45 \dots 90^\circ$) [3], что вызывает трехмерность следа. Среди работ по исследованию влияния угла атаки на интенсивность теплообмена особого внимания заслуживает работа [5], в которой показано, что усредненный тепловой поток плавно убывает до достижения угла $\beta = 15^\circ$ (здесь начало отсчета — от нормали к вектору потока), а затем начинает расти. Таким образом, изменяя угол атаки, можно как уменьшать, так и увеличивать усредненный тепловой поток.

При усреднении мгновенных полей скорости и изменении угла атаки β от 45° до 90° поперечная составляющая вектора скорости потока (при неизменном числе Рейнольдса, равном $1,2 \cdot 10^4$) уменьшается до нуля. Это соответствует классическому представлению о поперечной составляющей.

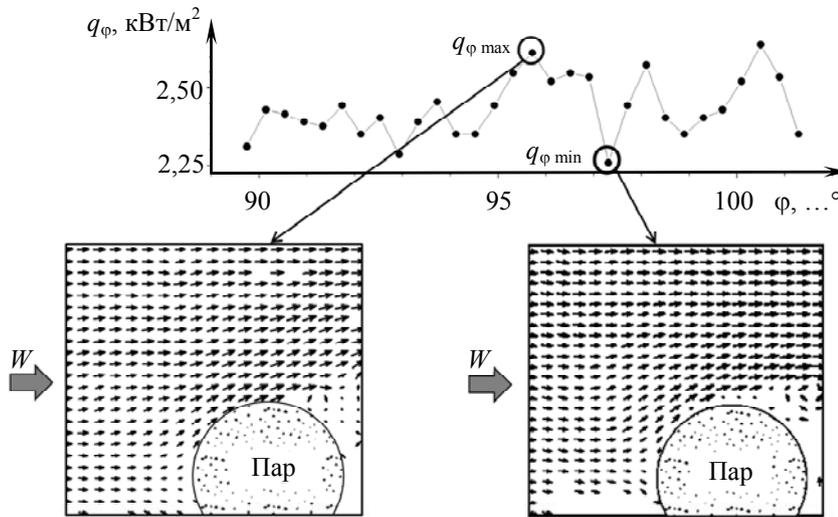


Рис. 4

Результаты градиентной теплотометрии показывают, что плотность локального теплового потока изменяется согласно традиционным представлениям, а средняя плотность теплового потока достигает минимального значения при $\beta = 60^\circ$.

По результатам экспериментов плотность локального теплового потока в точке с угловой координатой φ определялась как

$$q_\varphi = \frac{E}{S_0 F},$$

где E — напряжение ГДТП, F — площадь датчика.

Локальный коэффициент теплоотдачи

$$\alpha_\varphi = \frac{q_\varphi}{T_\text{ц} - T_\text{в}},$$

где $T_\text{ц}$ — температура поверхности цилиндра, $T_\text{в}$ — температура потока воздуха.

Безразмерное локальное число Нуссельта определяется выражением

$$\text{Nu}_\varphi = \frac{\alpha_\varphi d}{\lambda_f},$$

где d — диаметр цилиндра, λ_f — теплопроводность воздуха, а среднее число Нуссельта — выражением

$$\text{Nu} = \frac{\alpha d}{\lambda_f},$$

где α — значение коэффициента α_φ , усредненное по φ в пределах от 0 до 180° .

Зависимость $\text{Nu}(\text{Re})$ при различных значениях β представлена на рис. 5.

Для уравнения подобия $\text{Nu} = C \text{Re}^n$ коэффициенты C и n определены экспериментально и сопоставлены с их значениями, полученными в работе [6] (см. таблицу).

Полученные зависимости среднего числа Нуссельта от угла атаки β и числа Рейнольдса близки к результатам экспериментов, приведенным в работе [6]. Для всех исследованных значений угла β (45...90°) среднее число Нуссельта предсказуемо растет с увеличением числа Рейнольдса.

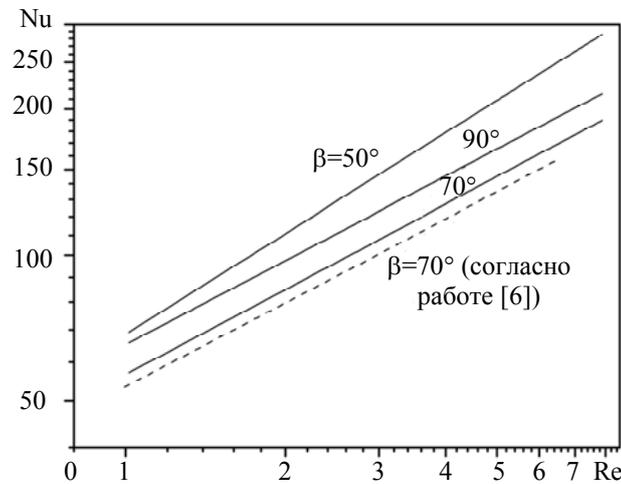


Рис. 5

β, \dots°	Работа [6]		Эксперимент		β, \dots°	Работа [6]		Эксперимент	
	C	n	C	n		C	n	C	n
45	0,161	0,636	0,279	0,609	70	0,270	0,574	0,256	0,586
50	—	—	0,117	0,692	75	0,302	0,561	0,347	0,563
55	—	—	—	—	80	0,200	0,614	—	—
60	0,172	0,634	—	—	85	0,217	0,614	0,214	0,618
65	0,187	0,620	0,239	0,593	90	0,207	0,618	0,317	0,578

Для того чтобы проследить связь между средним числом Нуссельта и структурой потока, необходимо рассмотреть средние поля скорости. В ходе эксперимента установлено, что именно изменение поперечной компоненты W_z вектора скорости в следе за цилиндром определяет изменение средней плотности теплового потока.

Представленные в настоящей статье результаты являются новыми и практически значимыми. Основным выводом можно считать работоспособность предложенной методики, что обеспечивает новые возможности для исследования влияния характера течения на теплообмен в режиме реального времени. Данная методика позволяет получить новые научные результаты при исследовании интенсификации теплообмена с помощью различных турбулизаторов.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

- Сапожников С. З., Митяков В. Ю., Митяков А. В. Основы градиентной теплометрии. СПб: Изд-во Политехн. ун-та, 2012. 203 с.
- „ПОЛИС“ — измеритель полей скорости / Ин-т теплофизики СО РАН, Новосибирск [Электронный ресурс]: <<http://www/itp.nsc.ru/piv/piv.htm>>.
- Сапожников С. З., Митяков В. Ю., Митяков А. В., Можайский С. А., Гусаков А. А. Градиентная теплометрия: идеи, реализация, результаты // Тр. Академэнерго. 2014. № 3. С. 16—35.
- Сапожников С. З., Митяков В. Ю., Митяков А. В. Градиентные датчики теплового потока. СПб: Изд-во СПбГПУ, 2003. 168 с.
- Alam Mahabub, Zhou Y. Turbulent wake of an inclined cylinder with water running // J. of Fluid Mechanics. 2007. Vol. 589. P. 261—301.

6. Sparrow E. M., Yanez Moreno A. A. Effect of yaw on forced convection heat transfer from a circular cylinder // Intern. Journal of Heat and Mass Transfer. 1987. Vol. 30, N 3. P. 427—435.

Сведения об авторе

Андрей Александрович Гусаков — СПбПУ, кафедра теоретических основ теплотехники; заведующий лабораторией; E-mail: a.gusakov.spb@mail.ru

Рекомендована кафедрой
теоретических основ теплотехники

Поступила в редакцию
17.03.15 г.

Ссылка для цитирования: Гусаков А. А. Совместное использование PIV-технологии и градиентной теплотемпературы // Изв. вузов. Приборостроение. 2015. Т. 58, № 7. С. 565—570.

COMBINED APPLICATION OF PIV-TECHNOLOGY AND GRADIENT HEAT FLUX MEASUREMENT

A. A. Gusakov

*Peter the Great Saint Petersburg Polytechnic University,
195251, Saint Petersburg, Russia
E-mail: a.gusakov.spb@mail.ru*

A new method for investigation of flow and heat transfer is proposed. The method combines PIV-technology with gradient heat flux measurement. The method implementation is demonstrated by the example of study of heat transfer and air flow around a cylinder for various values of angle of attack.

Keywords: PIV-technology, gradient heat flux measurement, transverse flow around a cylinder, heat flux, heat-transfer coefficient.

Data on author

Andrey A. Gusakov — SPbPU, Department of Thermodynamics and Heat Transfer; Head of Laboratory; E-mail: a.gusakov.spb@mail.ru

Reference for citation: Gusakov A. A. Combined application of PIV-technology and gradient heat flux measurement // Izvestiya Vysshikh Uchebnykh Zavedeniy. Priborostroyeniye. 2015. Vol. 58, N 7. P. 565—570 (in Russian).

DOI: 10.17586/0021-3454-2015-58-7-565-570

ИССЛЕДОВАНИЕ ТЕПЛОПРОВОДНОСТИ КОМПОЗИЦИОННЫХ МАТЕРИАЛОВ НА ОСНОВЕ СИЛИКОНА С НАПОЛНИТЕЛЯМИ

В. А. МИХЕЕВ¹, В. Ш. СУЛАБЕРИДЗЕ¹, В. Д. МУШЕНКО²

¹Балтийский государственный технический университет „ВОЕНМЕХ“ им. Д. Ф. Устинова,
190005, Санкт-Петербург, Россия
E-mail: vladislav-miheev@mail.ru

²ООО „СТОЛП“, 195197, Санкт-Петербург, Россия

Рассматриваются особенности теоретического определения эффективной теплопроводности композиционного материала и влияния дисперсности фазы наполнителя на его теплопроводность. Показана эффективность метода конструирования формулы теплопроводности путем инверсии наполнителя и связующего.

Ключевые слова: теплопроводность, композиционные материалы, компаунд, наполнитель, связующее, SiO₂, AlN.

Полидиметилсилоксановый каучук (силикон), используемый в качестве связующего, является основой многофункциональных композиционных материалов в радиоэлектронной аппаратуре. Силикон обладает высоким удельным электрическим сопротивлением и служит электрическим изолятором. Наполнение его оксидами или нитридами металлов с высокой теплопроводностью позволяет получать теплопроводящие диэлектрические компаунды.

Данные компаунды используются в качестве заливочных диэлектрических покрытий, обеспечивающих надежную герметизацию, электрическую изоляцию, высокую стойкость к вибрационным и ударным нагрузкам и эффективный теплоотвод от всех компонентов в изделиях тепло-, электро- и радиоэлектронной техники. Этим обуславливается потребность в компаундах, обладающих высокой теплопроводностью с сохранением функциональных характеристик материала, таких как текучесть, прочность, эластичность и высокая адгезия.

В настоящей статье исследуется теплопроводность композиционного материала на основе низкомолекулярного силиконового каучука СКТН марки А, используемого в качестве связующего, и мелкодисперсных порошков SiO₂, AlN — в качестве наполнителя. Образцы с различным объемным содержанием SiO₂ и AlN изготовлены в ООО „СТОЛП“ (Санкт-Петербург). Теплопроводность образцов измерена на установке ИТ-λ-400 в диапазоне температур 25—200 °С. Погрешность измерений, равная ±10 % при доверительной вероятности $P=0,95$, определена по результатам калибровки установки на рабочих эталонах теплопроводности и подтверждена повторяемостью результатов, получаемых на одном и том же образце. Однако неоднородность исследуемых образцов влияет на суммарный разброс данных по всем образцам.

Рассматриваемые композиционные материалы представляют собой двухфазную среду с существенно различающимися теплофизическими свойствами фаз. Теплопроводность кристаллических порошков SiO₂ и AlN превышает теплопроводность силикона при 20 °С в 40 и 1250 раз соответственно. С увеличением отношения „теплопроводность наполнителя/теплопроводность связующего“ для двухфазных композиционных материалов ухудшается сходимость результатов расчетов по известным формулам [1—3] и экспериментальных данных.

Расчет теплопроводности композиционного материала с мелкодисперсным наполнителем затруднен еще и потому, что порошок наполнителя может находиться в связующем в виде агрегатов, состоящих из совокупности кристаллических частиц. Эффективная теплопроводность таких агрегатов значительно ниже теплопроводности кристаллического материала.

Например, коэффициент теплопроводности монокристаллического AlN (при 20 °С) равен 275...300 Вт/м·К, поликристаллического спеченного AlN различной плотности — 70...200 Вт/м·К, а эффективная теплопроводность порошка AlN составляет 25...35 Вт/м·К в зависимости от его плотности и влагосодержания [4, 5].

Для расчетов теплопроводности двухфазных материалов с указанными выше наполнителями в ходе исследований были применены следующие формулы:

— формула Оделевского [1]:

$$\lambda_{\text{эф}} = \lambda_{\text{св}} \left(1 - \frac{v_{\text{нап}}}{\frac{1}{1 - \lambda_{\text{нап}} / \lambda_{\text{св}}} - \frac{1 - v_{\text{нап}}}{3}} \right), \quad (1)$$

— формула Миснара [2]:

$$\lambda_{\text{эф}} = \lambda_{\text{св}} \left(1 + v_{\text{нап}} \frac{1 - \lambda_{\text{св}} / \lambda_{\text{нап}}}{1 - v_{\text{нап}}^{1/3} (1 - \lambda_{\text{св}} / \lambda_{\text{нап}})} \right), \quad (2)$$

— формула Бургера [3]:

$$\lambda_{\text{эф}} = \frac{v_{\text{св}} \lambda_{\text{св}} + C v_{\text{нап}} \lambda_{\text{нап}}}{v_{\text{св}} + C v_{\text{нап}}}, \quad (3)$$

где $\lambda_{\text{св}}$, $\lambda_{\text{нап}}$, $\lambda_{\text{эф}}$ — коэффициенты теплопроводности связующего, наполнителя и материала соответственно; $v_{\text{св}}$, $v_{\text{нап}}$ — объемные доли связующего и наполнителя; коэффициент C в формуле Бургера выбирается исходя из следующих условий: $C=1$ — гомогенная смесь, $C \ll 1$ — изолированная фаза наполнителя, $C > 1$ — непрерывная фаза наполнителя.

Для улучшения сходимости расчетов по формулам (1) и (2) с измеренными значениями коэффициентов теплопроводности двухфазных материалов был предложен метод конструирования формулы эффективной теплопроводности путем инверсии наполнителя и связующего, опробованный, в частности, на системах „кремнийорганический эластомер — порошкообразный минеральный наполнитель“ [6]. Этот метод заключается в определении эффективной теплопроводности материала по „формуле инверсии“:

$$\lambda_{\text{эф}} = a_1 \lambda_1 + a_2 \lambda_2, \quad (4)$$

где λ_1 — эффективная теплопроводность смеси „порошок (связующее) — силикон (наполнитель)“; λ_2 — эффективная теплопроводность смеси „ силикон (связующее) — порошок (наполнитель)“; a_1 , a_2 — эмпирические коэффициенты, подбираемые по правилу нормировки: $a_1 + a_2 = 1$; $a_1 < a_2$.

Аналогичный подход был применен для анализа экспериментальных данных, полученных в ходе исследования композиционных материалов на основе силикона с различными наполнителями (характеристики наполнителей приведены в таблице).

Наполнитель	Содержание основного материала (порошка), V , %, не менее	Содержание влаги в порошке (v , %)	Размер частицы порошка (l , мкм)	Содержание частиц в наполнителе (v , %)	Нормативная документация
Мелкодисперсный (пылевидный) порошок SiO ₂ , марка Б	98	$v \leq 2$	$l > 16$ $l > 10$ $l > 6,3$ $l \leq 5$	$v \leq 1$ $v \leq 2,5$ $v \leq 10$ $v \geq 82$	ГОСТ 9077-82
Порошок AlN (серый)	98	$v < 1$	$l < 50$	$v \geq 98$	ТУ6-09.110-78
Порошок AlN (белый)	98	$v < 1$	$l < 50$	$v \geq 98$	ТУ6-00-5808008-215-88 с изм. 1-4

На рис. 1 приведена зависимость $\lambda(V_{\text{SiO}_2})$, построенная по результатам измерений и расчетов по формулам (1)—(4) для образцов с наполнителем SiO_2 . Анализ показывает, что при $a_1 = 0,1$, $a_2 = 0,9$, $C = 0,075$, $\lambda_{\text{SiO}_2} = 10$ Вт/м·К лучшая сходимость расчетных и экспериментальных данных обеспечивается при использовании формулы (4) с расчетом величин λ_1 и λ_2 по формуле (2); однако в рамках разброса измеренных значений по совокупности всех данных и формулам (1), (3), (4) сходимость можно признать удовлетворительной.

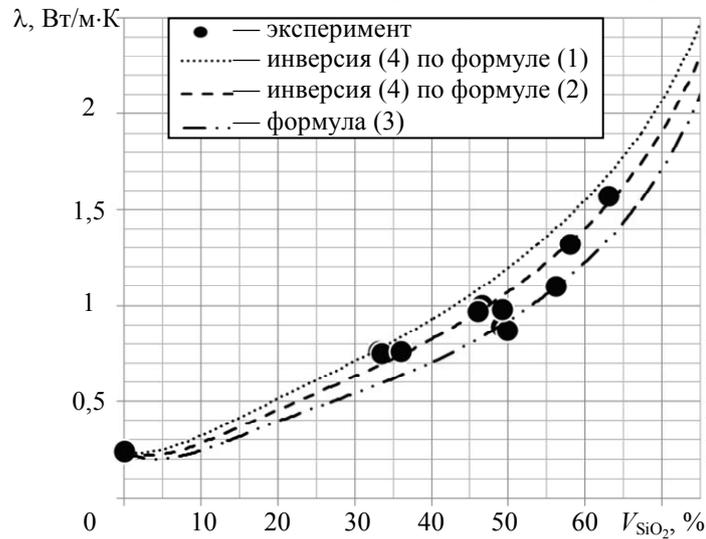


Рис. 1

Результаты вычислений по формулам (1)—(4) для образцов с наполнителем AlN , при тех же коэффициентах, что и для образцов с SiO_2 , и значении теплопроводности AlN (при 20°C), равном 275 Вт/м·К, показали, что при расчете коэффициента теплопроводности материала по формуле (1), как и по формуле (2), его значение существенно занижено по сравнению с экспериментальным. Применение метода конструирования функции (формула (4)) также не улучшает ситуации: расчетные значения значительно выше измеренных. То же относится и к формуле (3).

Существенно улучшается сходимость расчетных и экспериментальных результатов при уменьшении коэффициента $\lambda_{\text{нап}}$ по сравнению с коэффициентом теплопроводности кристаллического AlN . В частности, на рис. 2 приведены результаты расчетов по формулам (2)—(4) при $\lambda_{\text{нап}} = 25$ Вт/м·К, что немного ниже справочных данных для порошков поликристаллического AlN [4—6].

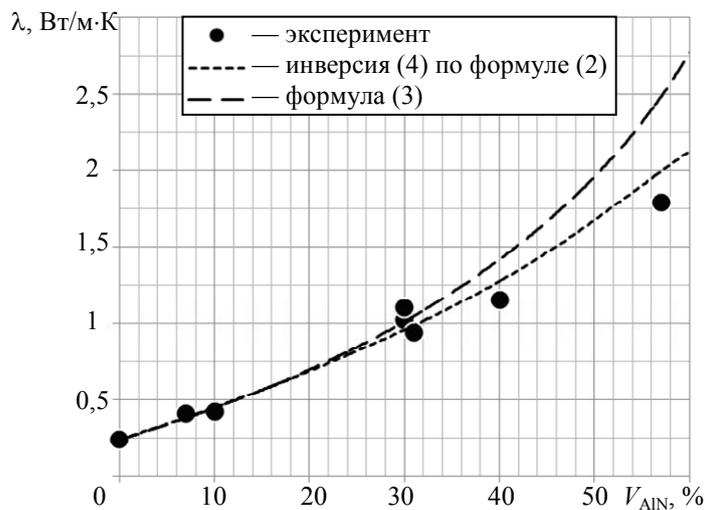


Рис. 2

В ходе исследований также был измерен коэффициент теплопроводности порошка AlN при свободной засыпке: плотность засыпки 1,4 — 1,5 г/см³. Измерения проводились на двух типах образцов [7]. При 20 °С измеренные значения $\lambda = 0,8 \dots 1,5$ Вт/м·К. В расчетах по формулам (1), (2) и (3) при $\lambda_{\text{нап}} = 25$ Вт/м·К получены следующие значения эффективной теплопроводности порошка AlN: 1,11; 1,02 и 1,33 Вт/м·К соответственно, что неплохо согласуется с экспериментальной оценкой. Таким образом, правомерно считать, что эффективная теплопроводность агрегатов порошка AlN в силиконе при 20 °С приблизительно равна 25 Вт/м·К, что более чем на порядок ниже коэффициента теплопроводности монокристаллического AlN.

Для лучшего понимания этого явления были измерены коэффициенты теплопроводности образцов, в которых порошок AlN (белый) соответствует ТУ, где размеры частиц фазы наполнителя меньше, чем частиц AlN (серый). Так, на рис. 3 приведены результаты измерений и расчетов по формулам (1)—(4) при указанных выше коэффициентах, но при $\lambda_{\text{нап}} = 55$ Вт/м·К.

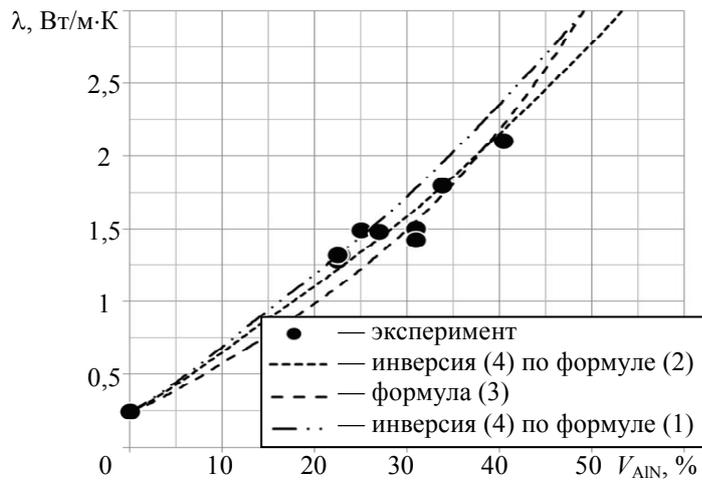


Рис. 3

Для сравнения фаз наполнителя образцов были произведены их исследования: для образца, содержащего 30 об.% AlN (серый), $\lambda = 1,11$ Вт/м·К, для другого образца, содержащего 22,5 об.% AlN (белый), $\lambda = 1,32$ Вт/м·К. В результате установлено, что первый образец формирует фазу, состоящую из включений в основном округлой формы размером от 50 до 250 мкм, причем большая часть наполнителя содержится во включениях размером 70—80 мкм; второй образец формирует фазу, также состоящую из включений в основном округлой формы размером от 30 до 150 мкм, а большая часть наполнителя содержится во включениях размером 30—50 мкм.

Таким образом, теплопроводность материала с AlN в качестве наполнителя может быть рассчитана лишь при условии, что известна дисперсность этой фазы и ее эффективная теплопроводность. Из этого также следует, что максимально возможное измельчение дисперсной фазы наполнителя в связующем позволит увеличить коэффициент теплопроводности при том же объемном содержании наполнителя.

При значительной неоднородности фаз по коэффициенту теплопроводности для расчета эффективной теплопроводности материала необходимо знать теплопроводность фазы наполнителя, а также его структуру.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Дульнев Г. Н., Заричняк Ю. П. Теплопроводность смесей и композиционных материалов. Л.: Энергия, 1974.
2. Миснар А. Теплопроводность твердых тел, жидкостей, газов и их композиций. М.: Мир, 1968.
3. Чудновский А. Ф. Теплофизические характеристики дисперсных материалов. М.: ФИЗМАТГИЗ, 1962.

4. Самсонов Г. В. Нитриды. Киев: Наук. Думка, 1969.
5. Иванов С. Н., Попов П. А., Егоров Г. В. и др. Теплофизические свойства керамического нитрида алюминия // Физика твердого тела. 1997. Т. 39, вып. 1. С. 93—96.
6. Кириллов В. Н., Дубинкер Ю. Б. и др. Теплопроводность систем „кремнийорганический эластомер — порошкообразный минеральный наполнитель“ // ИФЖ. 1972. Т. XX111, № 3.
7. Сулаберидзе В. Ш. Эффективность применения наполнителя из полых стеклянных микросфер для повышения качества теплоизоляции зданий. СПб: БГТУ „ВОЕНМЕХ“, 2014.

Сведения об авторах

- Владислав Александрович Михеев** — магистр; БГТУ „ВОЕНМЕХ“, кафедра инжиниринга и менеджмента качества; E-mail: vladislav-miheev@mail.ru
- Владимир Шалвович Сулаберидзе** — д-р техн. наук; БГТУ „ВОЕНМЕХ“, кафедра инжиниринга и менеджмента качества
- Василий Дмитриевич Мушенко** — канд. хим. наук; ООО „СТОЛП“, генеральный директор

Рекомендована кафедрой
инжиниринга и менеджмента качества

Поступила в редакцию
24.03.15 г.

Ссылка для цитирования: Михеев В. А., Сулаберидзе В. Ш., Мушенко В. Д. Исследование теплопроводности композиционных материалов на основе силикона с наполнителями // Изв. вузов. Приборостроение. 2015. Т. 58, № 7. С. 571—575.

**INVESTIGATION
OF THERMAL CONDUCTIVITY OF SILICONE BASED COMPOSITE MATERIALS WITH FILLERS**

V. A. Mikheev¹, V. Sh. Sulaberidze¹, V. D. Mushenko²

¹*D. F. Ustinov Baltic State Technical University "VOENMEH",
190005, Saint Petersburg, Russia
E-mail: vladislav-miheev@mail.ru*

²*STOLP Ltd, 195197, Saint Petersburg, Russia*

Specifics of theoretical evaluation of thermal conductivity of the composite material are considered, the effect of dispersed filling phase is analyzed. The method of design of a formula for the composite thermal conductivity by inversion of the filler and the binder is shown to be efficient.

Keywords: thermal conductivity, composite materials, compound, filler, binder, silicon dioxide, aluminium nitride.

Data on authors

- Vladislav A. Mikheev** — Graduate Student; BSTU "VOENMEH", Department of Engineering and Quality Management; E-mail: vladislav-miheev@mail.ru
- Vladimir Sh. Sulaberidze** — Dr. Sci.; BSTU "VOENMEH", Department of Engineering and Quality Management
- Vasily D. Mushenko** — PhD; STOLP Ltd., General Director

Reference for citation: Mikheev V. A., Sulaberidze V. Sh., Mushenko V. D. Investigation of thermal conductivity of silicone based composite materials with fillers // Izvestiya Vysshikh Uchebnykh Zavedeniy. Priborostroyeniye. 2015. Vol. 58, N 7. P. 571—575 (in Russian).

DOI: 10.17586/0021-3454-2015-58-7-571-575

ОПТИМИЗАЦИЯ РАЗМЕЩЕНИЯ ПЕЧАТНЫХ ПЛАТ ПРИ ТЕПЛОВОМ ПРОЕКТИРОВАНИИ ГЕРМЕТИЧНЫХ БЛОКОВ

В. Н. Крищук, Г. Н. Шило, Ю. А. Лопатка, Н. П. Гапоненко

*Запорожский национальный технический университет,
69063, Запорожье, Украина
E-mail: emiliax@mail.ru*

Рассматривается влияние принципа размещения печатных плат на тепловой режим герметичных блоков этажерочной конструкции. Описаны особенности теплоотвода в герметичных блоках. Предложен метод оптимизации размещения плат с учетом различной мощности рассеяния теплоты функциональными узлами, разработанный с использованием программных средств инженерного анализа для моделирования тепловых процессов.

Ключевые слова: *тепловое проектирование, размещение печатных плат, герметичный блок, оптимизация, программные средства.*

Важной задачей при проектировании радиоэлектронной аппаратуры является обеспечение максимальной плотности компоновки электрорадиоэлементов с сохранением высокой степени надежности [1]. Увеличение плотности компоновки и мощности рассеяния теплоты электрорадиоэлементами существенно ухудшает тепловой режим и, как следствие, приводит к увеличению массогабаритных показателей радиоэлектронной аппаратуры. Вопрос минимизации объема и массы особенно важен для бортовой авиационной аппаратуры, где используются герметичные блоки этажерочной конструкции [2].

Улучшить тепловой режим герметичных блоков этажерочной конструкции возможно за счет уменьшения перепада температуры между поверхностью корпуса и внешней средой, а также перепада температуры в блоке, который определяется как сумма перепадов температур плат и внутренних теплоотводящих элементов. На перепад температуры на внутренних теплоотводящих элементах влияет взаимное расположение источников тепла в блоке, что при нерациональном размещении функциональных узлов может привести к значительному перегреву блоков.

Задача размещения функциональных узлов в блоке до настоящего времени рассматривалась только с точки зрения оптимизации связей между ними [3, 4]. Разработка методов размещения функциональных узлов для оптимизации тепловых режимов затруднена в связи с тем, что традиционные методы расчета тепловых режимов основываются на модели трех тел и статистической обработке результатов измерения температур реальных блоков. Для повышения точности теплового проектирования необходимо в тепловых моделях учитывать конструкции блоков. Такие расчеты могут проводиться с использованием средств инженерного анализа [5, 6], которые в последнее время применялись, в частности, для оптимизации тепловых режимов радиаторов [7, 8]. Известны результаты исследования массогабаритных и тепловых характеристик герметичных блоков этажерочной конструкции [9]. Однако вопросы оптимизации размещения печатных плат в блоках с учетом мощности рассеяния теплоты каждой платой ранее не рассматривались.

В настоящей статье предложен метод оптимизации размещения печатных плат в герметичных блоках этажерочной конструкции с учетом мощности рассеяния каждой из них, разработанный с применением программных средств моделирования тепловых процессов.

Реализация предлагаемого метода предусматривает выполнение следующих задач:

- создание тепловой модели герметичного блока этажерочной конструкции;
- анализ особенностей теплоотвода в герметичных блоках;
- разработка алгоритма оптимизации размещения печатных плат в блоке;
- обсуждение особенностей применения метода.

Исследования тепловых режимов герметичных блоков этажерочной конструкции проводились с использованием тепловой модели, при этом учитывалось, что блок содержит большое количество конструктивных элементов, в том числе: печатные платы с электрорадиоэлементами, элементы крепления печатных плат, соединители, элементы объемного монтажа и т.д. Размеры этих элементов могут различаться в сотни и тысячи раз. Достаточная точность моделирования тепловых процессов в таких конструкциях не может быть описана современными компьютерными средствами. Поэтому при создании тепловой модели были исключены:

- конструктивные элементы, которые не влияют на распределение температур в блоке;
- локальные возмущения температур в печатных платах вблизи электрорадиоэлементов;
- элементы крепления блоков в аппаратуре.

Принятые допущения позволяют в тепловой модели не учитывать элементы объемного монтажа и соединители и рассматривать равномерное распределение мощности по поверхности печатной платы. Габариты электрорадиоэлементов компенсируются соответствующим расстоянием между печатными платами. В конструкции также отражено, что все платы имеют одинаковые размеры. Влияние металлизации печатной платы на тепловые процессы учитывается анизотропным коэффициентом теплопроводности. При моделировании теплообмен между блоком и внешней средой задавался только конвекцией и излучением. Предполагалось, что влияние на распределение температур внутри блока оказывала также теплопередача теплопроводностью по элементам крепления функциональных узлов.

Модель герметичного блока с принятыми допущениями приведена на рис. 1, где 1 — крышка корпуса, 2 — печатные платы, 3 — стойка, 4 — основание корпуса; стрелками показаны основные направления отвода тепла.

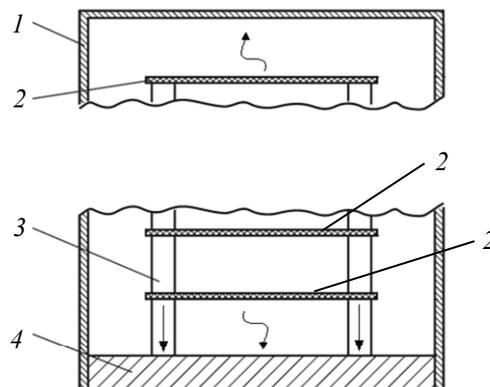


Рис. 1

Исследование тепловых режимов проводилось с помощью программного комплекса SolidWorks, модуль Flow Simulation. В результате анализа температуры плат установлено, что ее максимальное значение зависит от мощности рассеяния и принципа размещения плат. Теплопередача от верхней (наружной) поверхности платы происходит конвекцией и излучением к поверхности корпуса со значительно меньшей температурой, что улучшает теплоотвод и, как следствие, способствует снижению температуры верхней платы. Теплоотдача конвекцией и излучением от внутренней поверхности плат осуществляется в пространстве с более высокой температурой, что обуславливает повышение температуры плат. Также установлено, что температура корпуса практически одинакова при любом варианте размещения плат в блоке.

Поэтому для оптимизации их размещения целесообразно учитывать лишь перепад температуры в блоке, который определяется разностью его максимальной температуры и температуры основания корпуса.

Задача оптимизации размещения плат в блоке с учетом их теплового режима может быть решена методом перебора, что приводит, однако, к значительным временным затратам на проектирование блока. Для сокращения времени проектирования следует учитывать особенности теплопередачи в блоке: в частности, платы с повышенной мощностью рассеяния следует располагать в верхней и нижней частях блока. Этот метод используется в алгоритме сортировки [10], который адаптирован к задаче размещения функциональных узлов. Для оптимизации размещения могут использоваться также алгоритмы сортировки с последующим исключением плат, для которых оптимальное расположение определено с помощью критерия

$$T_{\max j} = \min \{T_{\max ji}\},$$

где $T_{\max ji}$ — максимальное значение температуры в блоке при i -м варианте размещения плат в j -м наборе.

С учетом особенностей распределения температур в блоке и выбранного критерия предлагаемый алгоритм оптимизации размещения печатных плат с учетом мощности рассеяния имеет следующий вид.

Шаг 1. Производится ранжирование печатных плат по мощности рассеяния.

Шаг 2. Задается вариант размещения наиболее мощного элемента в верхней части ранжированного ряда и определяется максимальная температура в блоке.

Шаг 3. Анализируются максимальные температуры в блоке при последовательной установке следующих мощных элементов на верхнюю позицию ряда. Если анализ максимальных температур в блоке при последовательном изменении элемента, располагаемого на верхней позиции, не завершен, то осуществляется переход к шагу 2. Иначе — в соответствии с вышеприведенным критерием — выбирается плата и устанавливается на верхнюю позицию ранжированного ряда.

Шаг 4. Из ряда печатных плат исключаются платы, для которых выбрано оптимальное расположение. Если установка всех элементов не завершена, то осуществляется переход к шагу 2, иначе — окончание работы алгоритма.

Объем вычислений может быть уменьшен, если на шаге 2 проводить сравнение температур в блоке при каждом этапе перемещения плат на верхнюю позицию ряда. В случае когда температура в блоке при последующем варианте перемещения плат превышает температуру при предыдущем варианте, необходимость в перемещении оставшихся плат отсутствует. Определение оптимального расположения плат в блоке осуществляется в соответствии с шагом 3. Позиции плат, находящихся ниже платы, для которой определено оптимальное расположение, устанавливаются как оптимальные, и эти платы также исключаются из ряда печатных плат, подлежащих оптимизации.

Реализация алгоритма рассмотрена на модели герметичного блока этажерочной конструкции при следующих заданных параметрах: количество печатных плат $n = 5$; расстояние между платами $l_{\text{п}} = 20$ мм; диаметр стоек $d = 10$ мм; толщина основания корпуса $h_0 = 7$ мм, толщина крышки корпуса и плат $h_{\text{к}} = h_{\text{п}} = 2$ мм; расстояние от края платы до крышки корпуса $l = 10$ мм; общая монтажная площадь электрорадиоэлементов $S = 0,04$ м²; коэффициент черноты поверхностей $\varepsilon = 0,91$; коэффициент теплопроводности стоек и корпуса $\lambda_{\text{к}} = 140$ Вт/м·К, коэффициент теплопроводности печатных плат $\lambda_{\text{п}} = 3(40)$ Вт/м·К в аксиальном и радиальном направлениях соответственно; мощность рассеяния $P_1 = 3,0$ Вт, $P_2 = 2,5$ Вт, $P_3 = 2,0$ Вт, $P_4 = 1,5$ Вт, $P_5 = 1,0$ Вт. Температура окружающей среды $T = 50$ °С.

Результаты применения предложенного алгоритма приведены на рис. 2, где показано распределение мощности по блоку (рис. 2, а) и соответствующее ему распределение температуры в блоке (рис. 2, б), а обозначения 1, 2 и 3 соответствуют наихудшему, ранжированному и оптимальному варианту расположения плат. Перепад температуры в блоке относительно температуры корпуса при варианте 1 составляет 21,5 °С, при варианте 2 — 15,2 °С, при варианте 3 — 14,0 °С. Оптимальный вариант размещения плат в блоке позволяет уменьшить перепад температуры по сравнению с наихудшим вариантом на 7,5 °С (54 %), а ранжированный вариант — на 6,3 °С (41 %).

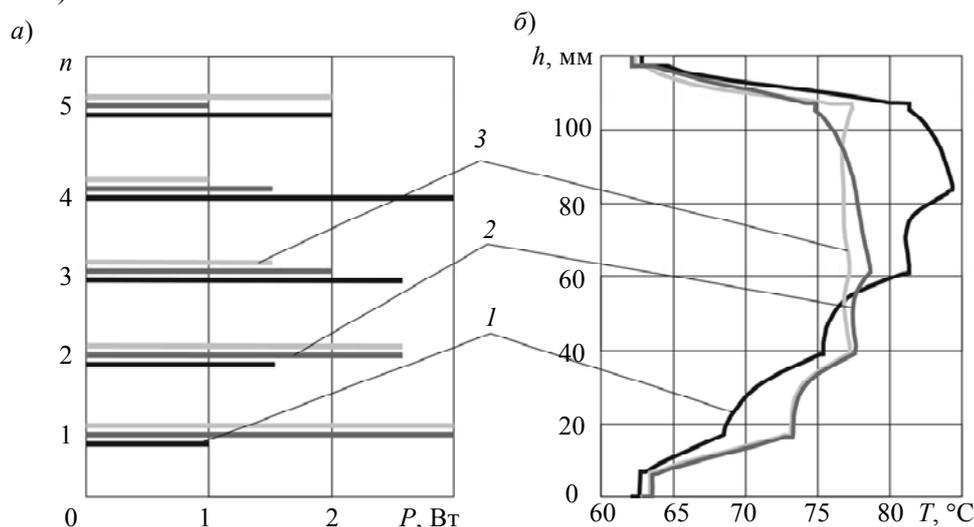


Рис. 2

Приведенный алгоритм может использоваться как один из этапов оптимизации объема блока в случае, когда распределение мощности в блоке неоднородно. Для оптимизации тепловых режимов блока необходимо учитывать локальные распределения температур вблизи электрорадиоэлементов, а также оптимизировать выбор расстояний между платами, диаметра стоек и количества печатных плат. Следует учитывать, что применение алгоритма может быть ограничено в связи с невозможностью изменить размещение плат в блоке вследствие увеличения длины межсоединений и увеличения электромагнитных помех.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Кольтюков Н. А., Белоусов О. А. Проектирование несущих конструкций радиоэлектронных средств. Тамбов: Изд-во ТГТУ, 2009.
2. Белоусов Е. Л., Ушкар М. Н. Конструирование блоков бортовой авиационной аппаратуры связи. Нижний Новгород: НГТУ, 2005.
3. Пирогова Е. В. Проектирование и технология печатных плат. М.: Форум, Инфра-М, 2005.
4. Меркухин Е. Н. Использование графовых моделей пространства допустимых решений в задаче размещения электронных элементов // Изв. вузов. Приборостроение. 2009. Т. 52, № 5. С. 56—61.
5. Алямовский А. А. Инженерные расчеты в SolidWorks Simulation. М.: ДМК-Пресс, 2010.
6. Lombard M. SolidWorks 2013 Bible. John Wiley & Sons Inc., 2013.
7. Гапоненко Н. П., Огренич Е. В. Проектирование пластинчатых радиаторов с оптимальными массогабаритными параметрами // Радиоэлектроника. Информатика. Управление. 2007. № 1. С. 32—35.
8. Шило Г. Н., Гапоненко Н. П., Огренич Е. В. Проектирование радиаторов с оптимальными массогабаритными параметрами // Технология и конструирование в электронной аппаратуре. 2011. № 1—2. С. 30—33.
9. Шило Г. М., Сиротюк О. В., Савелло О. С., Лопатка Ю. А., Арсикін Є. К., Гапоненко М. П. Дослідження массогабаритних і теплових характеристик герметичних блоків радіоелектронної апаратури // Радиоелектроніка. Інформатика. Управління. 2013. № 2. С. 42—47.

10. Седжвик Р. Элементарные методы сортировки // Алгоритмы на C++. М.: Изд. дом „Вильямс“, 2011. С. 246—247.

Сведения об авторах

- Владимир Николаевич Крищук** — канд. техн. наук, профессор; ЗНТУ, кафедра информационных технологий электронных средств
- Галина Николаевна Шило** — канд. техн. наук, доцент; ЗНТУ, кафедра информационных технологий электронных средств; E-mail: shilo.gn@gmail.com
- Юлия Анатольевна Лопатка** — аспирант; ЗНТУ, кафедра информационных технологий электронных средств; E-mail: emiliax@mail.ru
- Николай Прокофьевич Гапоненко** — канд. техн. наук, доцент; ЗНТУ, кафедра информационных технологий электронных средств

Рекомендована кафедрой
информационных технологий
электронных средств

Поступила в редакцию
26.03.15 г.

Ссылка для цитирования: Крищук В. Н., Шило Г. Н., Лопатка Ю. А., Гапоненко Н. П. Оптимизация размещения печатных плат при тепловом проектировании герметичных блоков // Изв. вузов. Приборостроение. 2015. Т. 58, № 7. С. 576—580.

**PLACEMENT OPTIMIZATION OF PRINTED CIRCUIT BOARDS
IN THERMAL DESIGN OF HERMETICALLY SEALED UNIT**

V. N. Krishchuk, G. N. Shilo, Yu. A. Lopatka, N. P. Gaponenko

Zaporizhian National Technical University,
69063, Zaporozhye, Ukraine
E-mail: emiliax@mail.ru

The influence of placing of printed circuit boards on thermal conditions of stack package is considered. Peculiarities of heat removal in hermetically sealed unit are described. A method for optimizing the boards placing with due regard for differences between heat power dissipated by separate functional units is developed with the use of a CAE system for simulation of thermal conditions.

Keywords: thermal design, placing printed circuit boards, hermetically sealed unit, optimization, software.

Data on authors

- Vladimir N. Krishchuk** — PhD, Professor; Zaporizhian National Technical University, Department of Information Technologies of Electronic Devices
- Galina N. Shilo** — PhD, Associate Professor; Zaporizhian National Technical University, Department of Information Technologies of Electronic Devices; E-mail: shilo.gn@gmail.com
- Yuliya A. Lopatka** — Post-Graduate Student; Zaporizhian National Technical University, Department of Information Technologies of Electronic Devices; E-mail: emiliax@mail.ru
- Nikolay P. Gaponenko** — PhD, Associate Professor; Zaporizhian National Technical University, Department of Information Technologies of Electronic Devices

Reference for citation: Krishchuk V. N., Shilo G. N., Lopatka Yu. A., Gaponenko N. P. Placement optimization of printed circuit boards in thermal design of hermetically sealed unit // Izvestiya Vysshikh Uchebnykh Zavedeniy. Priborostroyeniye. 2015. Vol. 58, N 7. P. 576—580 (in Russian).

DOI: 10.17586/0021-3454-2015-58-7-576-580

КРАТКИЕ СООБЩЕНИЯ

УДК 53.082.5, 57.08, 681.784
DOI: 10.17586/0021-3454-2015-58-7-581-583

СПЕКТРОФОТОМЕТРИЧЕСКАЯ УСТАНОВКА ДЛЯ НЕИНВАЗИВНОГО АНАЛИЗА УРОВНЯ ГЛЮКОЗЫ В КРОВИ

Е. А. ЛАСТОВСКАЯ¹, Е. В. ГОРБУНОВА¹, В. В. КОРОТАЕВ¹, Л. Б. ГАЙКОВАЯ²

¹Университет ИТМО, 197101, Санкт-Петербург, Россия
E-mail: plastelinchik@mail.ru

²Северо-Западный государственный медицинский университет им. И. И. Мечникова,
191015, Санкт-Петербург, Россия

Представлены результаты разработки установки, предназначенной для исследования возможностей неинвазивного анализа уровня глюкозы в крови спектрофотометрическим методом.

Ключевые слова: сахарный диабет, контроль уровня глюкозы, глюкометр, неинвазивный метод, спектрофотометрический метод.

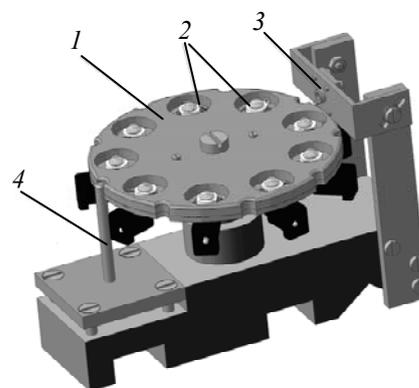
Согласно Федеральной целевой программе „Сахарный диабет“ (Москва, 2002 г.) рекомендуемая частота исследований уровня глюкозы у больных с сахарным диабетом 1-го типа (без осложнений) — 3-4 раза в день. Самостоятельный контроль уровня гликемии осуществляется больными с использованием электрохимических глюкометров, основным недостатком которых является необходимость прокалывания пальца. Несмотря на активные исследования в области неинвазивной диагностики [1—3] до сих пор не существует недорогого безболезненного средства контроля гликемии для личного пользования, обеспечивающего удовлетворительную точность. Таким образом, создание неинвазивного глюкометра является актуальной задачей современного медицинского приборостроения.

Оценивать концентрацию глюкозы в крови можно с помощью метода оптической неинвазивной диагностики, который основан на законах спектрофотометрии [4], по спектральным характеристикам крови и мягких тканей.

На основании результатов первого этапа экспериментальных исследований [5] спектральных характеристик пропускания растворов глюкозы разных концентраций, а также биологического объекта (мочки уха) в оптическом диапазоне длин волн (от УФ до ближнего ИК) разработан макет специальной измерительной установки, предназначенной для исследования ногтевой фаланги пальца руки спектрофотометрическим методом.

Общий вид установки показан на рисунке, где 1 — поворотный диск, 2 — излучающие диоды, 3 — планка для крепления оптоволоконного кабеля спектрометра, 4 — фиксатор положения диска.

Данное устройство используется для проведения экспериментальных исследований зависимости концентрации глюкозы в крови от интенсивности прошедшего излучения в узких



спектральных интервалах (видимом и инфракрасном). Измерения проводятся поочередно для каждого излучающего диода, при этом предусмотрена возможность поворота планки 3 для подстройки под размер исследуемого биологического объекта в целях оптимизации условий проведения измерений.

Предложенная установка предназначена:

- для поиска корреляционной зависимости между характером пропускания биологического объекта и уровнем гликемии;
- для отработки методики проведения измерений и изучения факторов, влияющих на результаты анализа (в частности, артериального давления).

Статья подготовлена по результатам исследований, выполненных при частичной государственной финансовой поддержке ведущих университетов Российской Федерации (Госзадание 2014/190).

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Govada A., Renumadhavi Ch., Ramesh K. B. Non-invasive blood glucose measurement // Intern. J. of Advanced Research in Computer and Communication Engineering. 2014. Vol. 3 (1). P. 5122—5125.
2. Singh P., Kaur Ha., Singh Dr. K.V.P. Non-invasive blood glucose level measurement from laser reflected spectral patterns images // IOSR Journal of Engineering. 2013. Vol. 3 (8). P. 6—10.
3. Amir O., Weinstein D., Zilberman S. Continuous non-invasive glucose monitoring technology based on “occlusion spectroscopy” // J. of Diabetes Science and Technology. 2007. Vol. 1 (4). P. 463—469.
4. Оптическая биомедицинская диагностика / Пер. с англ.; Под ред. В. В. Тучина. М.: ФИЗМАТЛИТ, 2007. 368 с.
5. Lastovskaia E. A., Gorbunova E. V., Chertov A. N., Korotaev V. V. Investigation of opportunities of the optical non-invasive diagnostics method for the blood sugar control // Proc. SPIE. 2015. Vol. 9369 (Photonic Instrumentation Engineering II), 93690Y.

Сведения об авторах

- Елена Александровна Ластовская** — магистрант; Университет ИТМО; кафедра оптико-электронных приборов и систем; E-mail: plastelinchik@mail.ru
- Елена Васильевна Горбунова** — канд. техн. наук; Университет ИТМО; кафедра оптико-электронных приборов и систем; E-mail: vredina_ia@mail.ru
- Валерий Викторович Коротаев** — д-р техн. наук, профессор; Университет ИТМО; кафедра оптико-электронных приборов и систем; E-mail: korotaev@grv.ifmo.ru
- Лариса Борисовна Гайковская** — д-р мед. наук, профессор; СЗГМИ им. И. И. Мечникова, кафедра биологической и общей химии; E-mail: largaykovaya@yandex.ru

Рекомендована кафедрой оптико-электронных приборов и систем

Поступила в редакцию 09.04.15 г.

Ссылка для цитирования: Ластовская Е. А., Горбунова Е. В., Коротаев В. В., Гайковская Л. Б. Спектрофотометрическая установка для неинвазивного анализа уровня глюкозы в крови // Изв. вузов. Приборостроение. 2015. Т. 58, № 7. С. 581—583.

SPECTROPHOTOMETRIC SETUP FOR NON-INVASIVE MEASURING THE BLOOD GLUCOSE LEVEL

E. A. Lastovskaya¹, E. V. Gorbunova¹, V. V. Korotaev¹, L. B. Gaykovaya²

¹ITMO University, 197101, Saint Petersburg, Russia
E-mail: plastelinchik@mail.ru

²I. I. Mechnikov North-Western State Medical University,
191015, Saint Petersburg, Russia

A setup designed for investigation of the prospects of non-invasive blood glucose level measurement with a spectrophotometer is presented.

Keywords: diabetes mellitus, glycemic control, blood glucose meter, non-invasive method, spectrophotometric method.

Data on authors

- Elena A. Lastovskaya** — Graduate Student; ITMO University, Department of Optical-Electronic Devices and Systems; E-mail: plastelinchik@mail.ru
- Elena V. Gorbunova** — PhD; ITMO University, Department of Optical-Electronic Devices and Systems; E-mail: vredina_ia@mail.ru
- Valery V. Korotaev** — Dr. Sci., Professor; ITMO University, Department of Optical-Electronic Devices and Systems; E-mail: korotaev@grv.ifmo.ru
- Larisa B. Gaykovaya** — Dr. Sci., Professor; NWSMU, Department of Biological and General Chemistry; E-mail: largaykovaya@yandex.ru

Reference for citation: Lastovskaya E. A., Gorbunova E. V., Korotaev V. V., Gaykovaya L. B. Spectrophotometric setup for non-invasive measuring the blood glucose level // Izvestiya Vysshikh Uchebnykh Zavedeniy. Priborostroenie. 2015. Vol. 58, N 7. P. 581—583 (in Russian).

DOI: 10.17586/0021-3454-2015-58-7-581-583