

Вестник Морского государственного университета им. адмирала Г. И. Невельского. Вып. Серия: Автоматическое управление, математическое моделирование и информационные технологии. Вып. 68/2015– Владивосток: Мор. гос. ун-т, 2015 – 138 с.

ISBN 978-5-8343-0947-5

Учредитель журнала – Морской институт
информационных технологий
МГУ имени адмирала Г.И. Невельского

Главный редактор д-р техн. наук Дыда А. А.
Зам. гл. редактора канд. техн. наук Оськин Д. А.

Редакционная коллегия:

Щуров В. А.
д-р физ.-мат. наук

Веревкин В. Ф.
д-р техн. наук

Глушков С. В.
д-р техн. наук

Клоков В. В.
канд. техн. наук

Павликов С. Н.
канд. техн. наук

Сгребнев Н. В.
канд. техн. наук

Буров Д. В.
канд. физ.-мат. наук

ISBN 978-5-8343-0823-2

© Морской государственный университет
имени адмирала Г.И. Невельского, 2015

РАСПРЕДЕЛЁННАЯ СИСТЕМА «СУДОВОДИТЕЛЬ»

Система для контроля физических параметров груза в танках нефтеналивных судов (танкеров) состоит из двух комплексов: аппаратного и программного.

Общая структура системы контроля состояния груза танкера показана на рисунке 1. Аппаратный комплекс, состоящий из преобразователей, определяющих параметры груза, и периферийного устройства, осуществляющего сбор данных с преобразователей, передает информацию о параметрах груза на электронную вычислительную машину (ЭВМ) для последующей обработки, анализа и визуализации [1, с. 49].

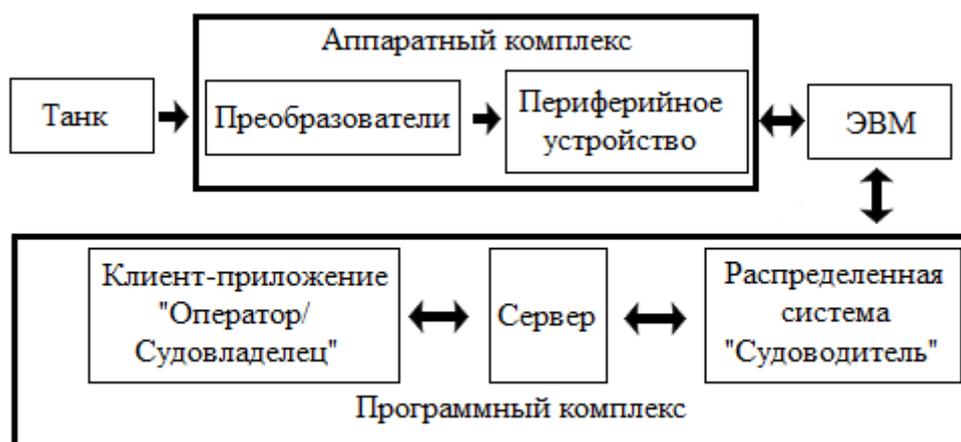


Рис. 1. Структура программно-аппаратного комплекса

Программный комплекс системы контроля состояния груза состоит из трёх подсистем: распределённая система «Судоводитель», сервер, клиент-приложение «Оператор/Судовладелец». Распределённая система «Судоводитель» получает данные от аппаратного комплекса, обрабатывает их и визуализирует результаты обработки. При доступном подключении к интернету соединяется с сервером и передаёт необходимую информацию: средние показатели физических параметров груза, а также сведения о прогнозируемых или произошедших нештатных ситуациях, с которыми также может ознакомиться судовладелец или другое лицо, имеющее разрешение на допуск к системе, находящиеся за пределами контролируемого танкера. При входе/выходе в порт система будет формировать необходимую документацию. Распределённая система может быть функционально расширена с помощью отдельных пользовательских программ. Сервер хранит стабильные версии программ для удалённого восстановления или обновления и полученные данные от распределённой

системы «Судоводитель», а также предоставляет их клиент-приложению «Оператор/Судовладелец». Клиент-приложение «Оператор/Судовладелец» предоставляет статистические данные оператору или судовладельцу, а также позволяет дистанционно добавлять пользовательские модули в распределённую систему «Судоводитель».

При разработке распределённой системы «Судоводитель» были разработаны «нормальный» и «резервный» режимы исполнения, причем первый включает ядро и следующие модули:

- 1) получения и обработки данных с периферийного устройства;
- 2) контроля и коррекции ошибок данных и работы с пакетом данных;
- 3) графического вывода (регистрационный номер программы для ЭВМ № 2014612988);
- 4) криптографии (алгоритмы шифрования ГОСТ 28147-89 и Elgamal);
- 5) обмена данными через сокеты;
- 6) хранения статистических данных;
- 7) проведения расчётов и составления документации.

Распределенная система «Судоводитель» состоит из набора программ, которые не имеют прямых зависимостей между собой. Каждая программа (модуль), используя возможности современных операционных систем, представлена отдельным процессом, что позволяет избежать отказа всей системы контроля физических параметров груза на судне в случае возникновения ошибки в одном из модулей. При необходимости такую систему можно повторить с помощью аппаратных средств. В данной системе каждый модуль является резидентным и предоставляет малый набор функций или осуществляет работу лишь в одной области. Запросы на выполнение функций и обмен данными производится через «общую память» или сокеты.

На рисунке 2 представлена общая схема системы «Судоводитель». Модули делятся на два типа: системные и пользовательские. Системные модули реализуют функции, которые были предусмотрены для предоставления основных возможностей по контролю физических параметров груза в танках и автоматизации составления необходимых документов. Пользовательские модули предоставляют любые другие функции и возможности, и могут быть разработаны сторонними разработчиками. Для взаимодействия с системой необходимо будет использовать набор средств разработки (software development kit).

Старт системы начинается с Загрузчика. Загрузчик проверяет доступность «ресурсов» ЭВМ для старта основного ядра. При успешном завершении проверки «ресурсов» ЭВМ будет дан старт основному ядру.

В случае отказа ядра и невозможности восстановления его нормальной работы, будет дан сигнал пользовательским модулям о завершении работы, а системные перейдут в режим прямого взаимодействия. Это произойдёт только в случае отказа ядра, а не критического «ресурса», напри-

мер в случае отказа графического сервера операционной системы.

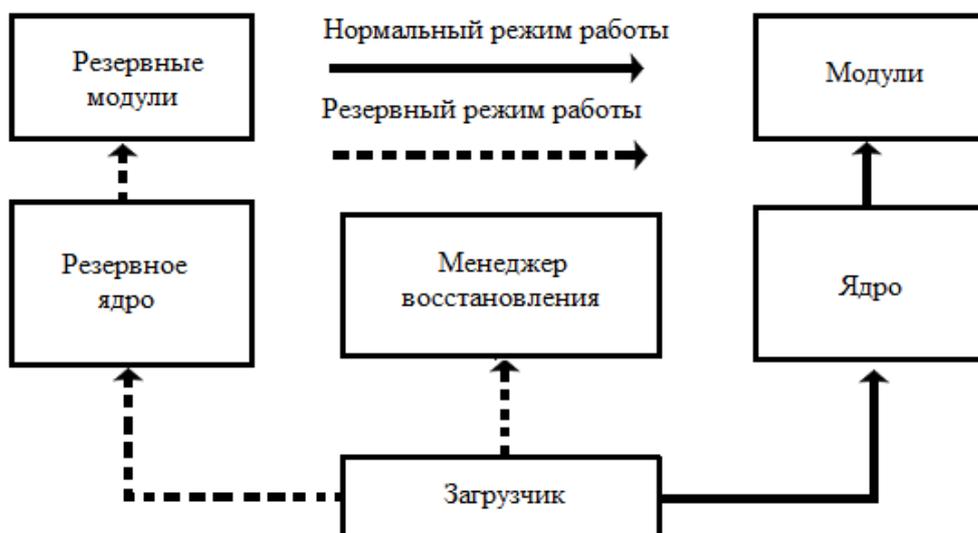


Рис. 2. Общая структурная схема системы «Судоводитель»

При отказе системного модуля, ядро посылает запрос загрузчику, сообщая, какой именно модуль вышел из строя. Загрузчик проверяет требуемый для модуля «ресурс», если он доступен, то производится обращение к менеджеру восстановления, который, в свою очередь, с сервера запрашивает стабильную версию системного модуля и заменяет ею неисправный модуль. В случае повторного сбоя через короткий промежуток времени будет запущен резервный модуль, а информация о сбое будет передана на сервер.

В случае критического сбоя системы, например, отказал графический сервер операционной системы, будут завершены все пользовательские и системные модули. После этого будет дан старт резервному ядру и резервным модулям. В резервном режиме не предусмотрена работа пользовательских модулей. По причине того, что резервное ядро и модули начинают работать в случаях серьезных нарушений в работе ЭВМ или операционной системы, то работа пользовательских модулей в этом режиме нецелесообразна. При входе в резервный режим на сервер отправляется информация о произошедшем сбое.

Ядро инициализирует единый интерфейс команд и системные модули. Как было сказано выше, модули способны вести обмен данными напрямую между собой, но этот режим работы предусмотрен только в случае отказа ядра. Так как у модулей могут присутствовать разнообразные обработчики входных команд, различные смещения входных и выходных данных, то для предоставления единого интерфейса команд и манипуляции данными предназначено ядро.

При инициализации системных модулей ядром оно придает им необходимые данные: размер буфера команд и его название (для сокетов ip-адрес). Эти данные необходимы для создания общей памяти или сокета с буфером, с которыми будет работать обработчик модуля при входящих

командах. После чего модуль регистрируется в ядре. Структура регистрационной записи модуля состоит из 256-ти байт. Байт флагов указывает, является ли модуль системным или пользовательским, а также разрешён ему доступ к единому интерфейсу или запрещён. Название модуля указывается латиницей, не более 31-го символа. В описании может быть указана произвольная информация о модуле, не более 63-х символов. В названии «общей памяти» указывается соответствующее её название, или, если используются сокеты, то ip-адрес, не более 31-го символа. Идентификатор модуля присуждается ядром, модуль в свою очередь должен использовать его в командах, посылаемых другим модулям. Размер буфера команд указывает размер внутреннего буфера команд модуля. Зарезервированные 138-мь байт планируется использовать под передачу открытого ключа и применения асимметричного шифрования к пересылаемым данным.

Регистрация модуля в ядре используется для контроля работы системных и пользовательских модулей. Конкретный пользовательский модуль можно отключить от единого интерфейса команд или полностью запретить обработку команд от такого модуля. Системные модули отключить нельзя, возможно лишь получить список действующих системных модулей в момент запроса.

Ядро предоставляет интерфейс команд для подключения пользовательских модулей. Для подключения пользовательского модуля он должен запросить у ядра регистрацию в системе и свой идентификатор, для этого необходимо передать информацию, указанную в структуре регистрационной записи. При успешном завершении регистрации пользовательского модуля он может обращаться как к системным модулям, если имеет для этого права доступа, так и к другим пользовательским модулям. Отличительная особенность от системных модулей при посылке команд заключается в том, что пользовательский модуль должен передавать свой идентификатор каждый раз. При неверном идентификаторе пользовательского модуля команда выполнена не будет.

Ядро также предоставляет функционал терминала. Терминал представляет собой низкоуровневый текстовый способ ввода/вывода. С помощью терминала можно получить информацию о подключённых в данный момент модулях: их название, описание, идентификатор и название «общей памяти» или ip-адрес, заблокирован модуль в системе или нет. С помощью терминала можно запрещать выполнение пользовательских модулей, разрешать выполнение пользовательских модулей или отключать их от системы.

Для решения задачи по контролю физических параметров груза нефтеналивных судов и автоматизации составления документации, предусмотрены следующие системные модули:

- 1) получение и обработка данных с периферийного устройства;
- 2) контроль и коррекция ошибок данных и работы с пакетом данных;
- 3) графический вывод;

- 4) модуль криптографии (ГОСТ 28147-89 и Elgamal);
- 5) обмен данными через сокеты;
- 6) хранение статистических данных;
- 7) расчёт и составление документации.

Распределённая система «Судоводитель» обладает высокой отказоустойчивостью. Отказоустойчивость достигается путём разбиения системы на отдельные процессы, которые не имеют жёстких связей, из-за которых сбой в одном процессе мог бы привести к отказу всей системы. В данной системе используется интерфейс сообщений для взаимодействия процессов. Данная система удовлетворяет требованию отказоустойчивости для работы на судне.

Список литературы

1. Седова Н.А., Белоус Д.В. Программный комплекс системы контроля состояния груза танкеров [Текст] / Н.А. Седова, Д.В. Белоус // Технологии нефти и газа. – 2013. – №5 – С. 49-52.

УДК 519.2

Д. А. Бушко, С. С. Пашин

СИНТЕЗ МРС РЕГУЛЯТОРА С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ ЛИНЕЙНОЙ МОДЕЛИ СУДНА

Рассмотрим задачу управления курсом судна при повороте (изменении курса). В общем случае объект управления (судно) ведет себя нелинейно. Известны модели Норбина (рис.1), Беха, Лемке, Ван Левена и др. Эти модели отражают влияния нелинейностей, таких как вязкое сопротивление, на динамику движения судна. Сам вид нелинейности вызывает множество вопросов и единого мнения на этот счет нет.

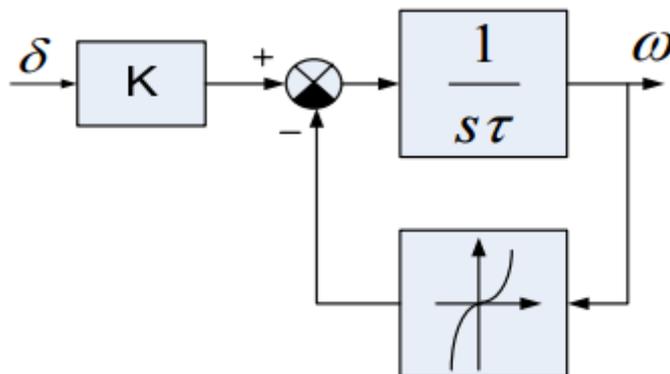


Рис.1. Модель Норбина

При малом отклонении поведение судна можно описывать линейной

моделью Номото (1), при этом использование модели выше второго порядка (2) особых результатов не дает [1].

$$T \dot{\omega} + K_c \omega = K \delta \quad (1)$$

$$T_1 T_2 \ddot{\omega} + (T_1 + T_2) \dot{\omega} + \omega = K(\delta + T_0 \dot{\delta}) \quad (2)$$

Одним из современных методов управления сложными динамическими объектами является управление с прогнозирующими моделями. В зарубежной литературе он известен как MPC (model predictive control) [2]. MPC базируется на использовании упрощенной, как правило, линейной модели реального объекта для синтеза управления на горизонте предсказания.

Пусть на некотором промежутке времени $T = [t_0, t]$ объект ведет себя нелинейной. Можно попытаться найти оптимальное управление, решая систему нелинейных уравнений, описывающих объект, ограничения на управление и т.д. Решение таких систем уравнений процесс трудоемкий, даже при использовании численных методов с учетом современных вычислительных мощностей. При этом есть масса сложностей с нахождением решения, связанных с попаданиями в локальные экстремумы.

Вместо этого можно разбить временной интервал T на множество более мелких интервалов t , таких, что $t \ll T$. На каждом из таких интервалов t объект будет вести себя линейно относительно всего интервала T . И мы можем решить множество линейных задач синтеза оптимального управления, вместо одной нелинейной задачи.

При этом решение линейной задачи оптимального управления будем применять к объекту управления, а полученное в результате состояние объекта использовать как новые начальные условия для решения следующей задачи. Таким образом, мы будем двигать траекторию объекта к желаемой, решая линейную задачу, вместо нелинейной.

Для решения возьмем линейную модель Номото первого порядка (1). Обозначим через следующие переменные курс судна, угловую скорость и управление (3) и разрешим уравнение (1) относительно \dot{X}_2 :

$$X_1 = \varphi, \quad X_2 = \omega, \quad \delta = u. \quad (3)$$

Произведем дискретизацию модели следующим образом:

$$\dot{X}_2 \approx \frac{X_2(i+1) - X_2(i)}{\Delta t} \quad (4)$$

Учитывая (2) и (3) получим дискретный вид модели (1) в виде системы разностных уравнений (5), где a и b - константы.

$$\begin{cases} X_2(i+1) = a \cdot X_2(i) + b \cdot u(i) \\ X_1(i+1) = X_1(i) + X_2(i) \cdot \Delta t \end{cases}, \text{ где} \quad (5)$$

$$a = 1 - \frac{K_c}{T} \Delta t, \quad b = \frac{K}{T} \Delta t$$

Для поиска оптимального управления используем квадратичный критерий вида [3]:

$$J = \Phi[X(N)] + \sum_{i=0}^{N-1} L_i \rightarrow \min,$$

$$\Phi[X(N)] = \frac{1}{2} (X_1(N) - \varphi_{зад})^2, \quad (6)$$

$$L_i = \frac{1}{2} u(i)^2,$$

Стоит учесть, что критерий имеет скалярный вид, а $X(N)$ вектор состояния. В данном случае мы использовали лишь курс судна $X_1(N)$, в общем же случае:

$$\Phi[X(N)] = \frac{1}{2} (X(N) \cdot X^T(N) \cdot S - \varphi_{зад})^2, \quad (7)$$

где S – диагональная матрица.

Если выразить вектор X через начальные условия и управления, то получим:

$$\begin{cases} X_2(N) = a^N \cdot X_2(0) + b \sum_{j=0}^{N-1} a^{N-j-1} \cdot u(j) \\ X_1(N) = X_1(0) + \sum_{i=0}^{N-1} X_2(i) \cdot \Delta t \end{cases} \quad (8)$$

где N – количество шагов (горизонт прогноза), на которое мы пытаемся смоделировать движение объекта вперед (в будущее).

Теперь подставив X_2 в X_1 , а X_1 в критерий оптимальности и взяв частные производные по управлению, получим оптимальное управление на N шагов для линейной модели и применим только первое управление к реальному объекту. Для $N = 2$ получим решение (9)

$$u(0) = - \frac{\varphi \cdot K \cdot T \cdot t^2 - \varphi_{зад} \cdot K \cdot T \cdot t^2 - K \cdot K_c \cdot \omega(0) \cdot t^4 + 2 \cdot K \cdot T \cdot \omega(0) \cdot t^3}{K^2 \cdot t^4 + T^2}, \quad (9)$$

$$u(1) = 0$$

Реализация дискретной модели судна в matlab представлена на рис.2, значения констант используемых в модели следующие: $T = 15$; $K = 1$;

$K_c=0,4 ; \Delta t = 1.$

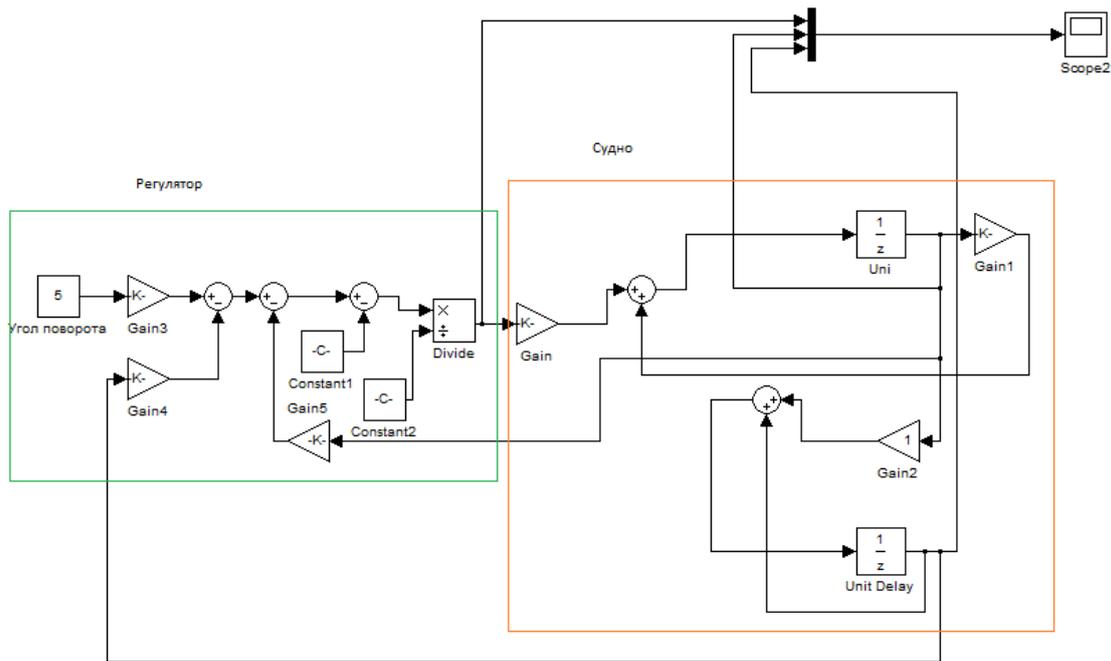


Рис.2. Модель судна и линейный MPC регулятор

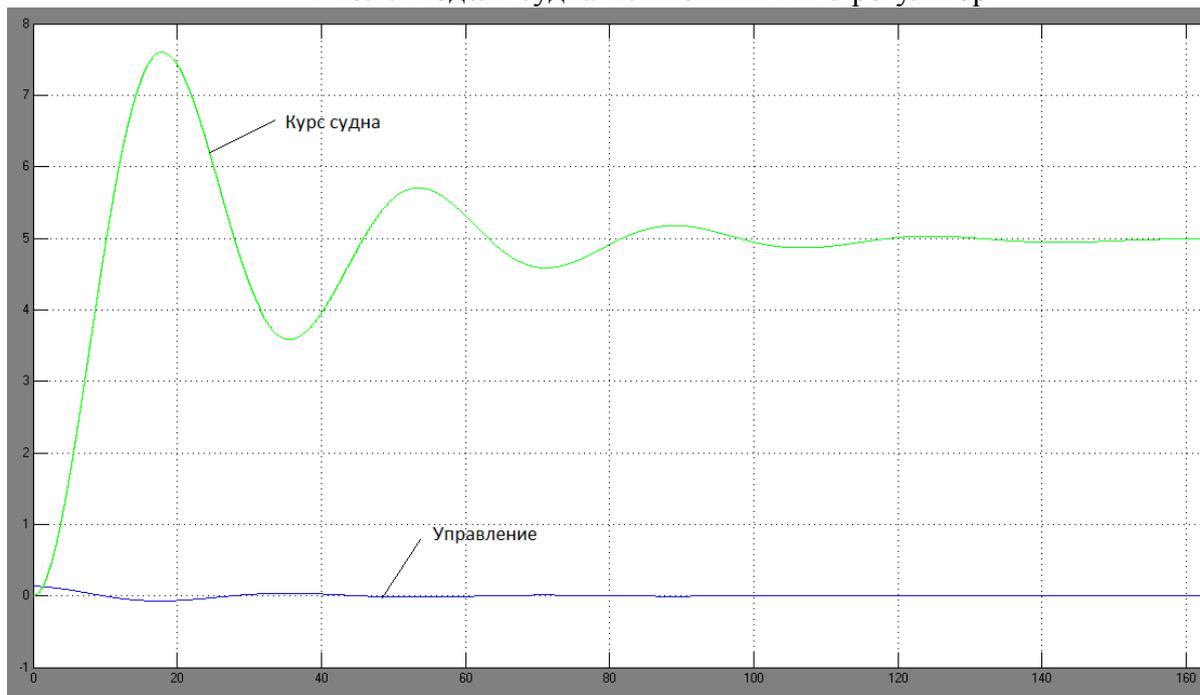


Рис.3. Поворот на 5 градусов

При моделировании отклонения курса судна от текущего получили малую чувствительность к углу поворота (рис.3, рис.4) из-за использования линейной модели динамики судна. Из графиков видно, что поворот происходит примерно, за одно, и тоже время в обоих случаях. При этом управляющее воздействие получилось значительно меньше изменения самой управляемой величины.

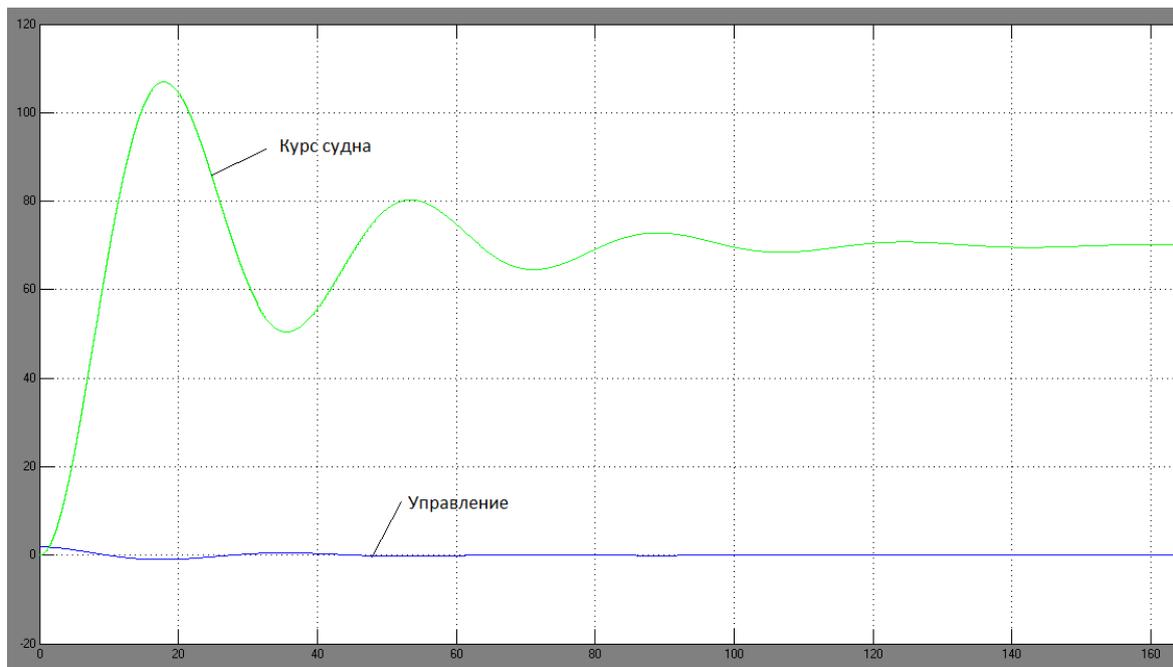


Рис.4. Поворот на 70 градусов

Список литературы

1. FUNDAMENTAL PROPERTIES OF LINEAR SHIP STEERING DYNAMIC MODELS. Ching-Yaw Tzeng and Ju-Fen Chen. Journal of Marine Science and Technology, Vol. 7, No. 2, pp. 79-88 (1999)
2. Бушко Д.А., Пашин С.С. Управление с прогнозирующими моделями на морских подвижных объектах. МГУ им. Адм. Г.И. Невельского, 61 международная молодежная научно-техническая конференция «Молодежь. Наука. Инновации» 2013г.
3. Брайсон А., Хо-Ю-Ши. Прикладная теория оптимального управления. Москва: Изд-во "Мир", 1972.

УДК 004.056.5

С. М. Гончаров, Г. А. Квачук, А. Е. Боршевников

АНАЛИЗ ТРЕБОВАНИЙ К БАЗАМ МЫСЛЕННЫХ ОБРАЗОВ НА ОСНОВЕ ЭКСПЕРИМЕНТОВ, ПРОВЕДЕННЫХ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ РАЗЛИЧНЫХ МЕТОДОВ ФОРМИРОВАНИЯ МЫСЛЕННЫХ ОБРАЗОВ

Практическое применение криптографии стало неотъемлемой частью жизни современного общества. На сегодняшний день стандартными способами идентификации де-факто являются пароли и уникальные идентификаторы или документы, удостоверяющие личность владельца (паспорт, водительские права и прочее). Но все эти способы идентификации могут стать предметом подделки или потери. Оптимальной альтернативой им является генерация секретного ключа из биометрических данных поль-

зователя. Однако использование биометрических данных для генерации криптографических ключей осложняется тем, что эти данные неточно воспроизводимы и имеют ряд особенностей:

- биометрические характеристики могут изменяться со временем, а некоторые зависят от физического и эмоционального состояния их владельца;
- проблема смены ключей – биометрические данные неотзываемы;
- невозможность держать многие биометрические данные в тайне (например: отпечатки пальцев могут быть оставлены на различных поверхностях).

На данный момент существует два подхода к генерации секретных ключей на основе биометрических данных, удовлетворяющие требованиям современной криптографии: использование специально обученных искусственных нейронных сетей и применение «нечетких экстракторов».

1. *Нейронные сети.* Нейросетевой преобразователь «Биометрия-код доступа» – заранее обученная искусственная нейронная сеть с большим числом входов и выходов, преобразующая частично случайный вектор входных биометрических параметров «СВОЙ» в однозначный код криптографического ключа и преобразующая любой иной случайный вектор входных данных «ЧУЖОЙ» в случайных выходной код. Описанию данного подхода посвящена линейка стандартов ГОСТ Р 52633.

2. *Нечеткие экстракторы.* Этот подход позволяет однозначно восстанавливать секретный ключ из неточно воспроизводимых биометрических данных при участии так называемых вспомогательных данных, являющихся открытыми.

В проведенных экспериментах используется нейросетевой преобразователь «Биометрия-код доступа», а в качестве биометрических данных пользователя выступают данные, основанные на деятельности головного мозга. Использование электроэнцефалограммы (ЭЭГ) головного мозга в качестве биометрической характеристики является новым направлением в области высокоточной биометрической аутентификации. Из-за этого возникает вопрос формирования баз мысленных образов [1].

Была поставлена задача – проанализировать ряд основных типов мысленных образов и сформулировать требования, которым они должны будут соответствовать методы их сбора/обработки. В ходе решения данной задачи были произведены 3 серии экспериментов, в которых использовались различные методы формирования мысленных образов.

1. Здесь стимуляция вызывает VEP потенциал. Используемый метод заключается в следующем: стимуляция выглядит в виде поочередно меняющихся на экране цифр от «0» до «9». Пользователи выбирают 1, 2 или 4 символа и при их появлении на экране концентрирует свое внимание на них. Данные символы являются «мысленным паролем».

Съем ЭЭГ производился в течение 10 секунд в случае, когда пользователь запоминает 1 или 2 символа. Для 4 символов съем длится 20 с. Для каждой секунды было использовано разбиение на 128 частей, что соответ-

стует синхронизации с нейрогарнитурой, используемой для съема ЭЭГ [2].

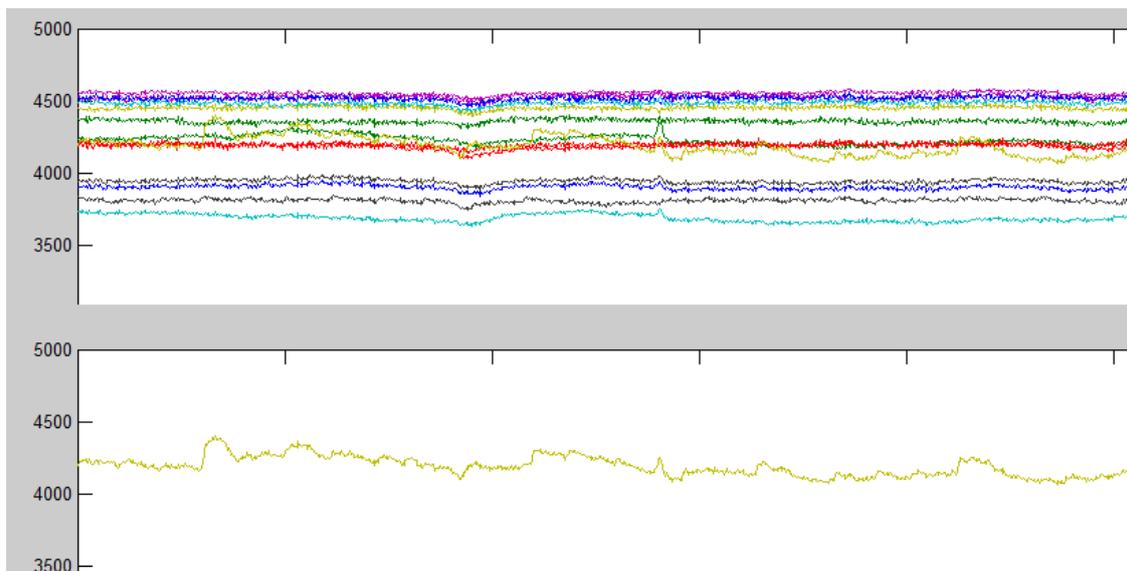


Рис. 1. ЭЭГ при визуальной стимуляции

2. В рамках следующей серии экспериментов была выбрана задача - мысленно проиграть музыкальную мелодию. Проигрываемая мелодия является «мысленным паролем». Данная задача была выбрана не случайно. В структуре головного мозга Корбинианом Бродманом были выделены отделы (поля Бродмана), отличающиеся по клеточному строению и отвечающие за определённые функции. Локализация мысленного образа в одном поле в дальнейшем увеличивает точность распознавания полученных ЭЭГ пользователей.

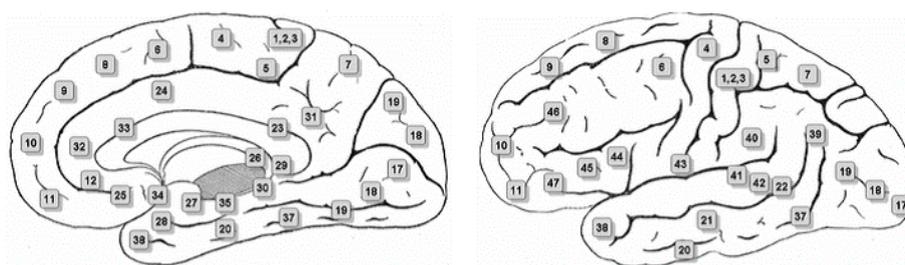


Рис. 2. Локализация полей Бродмана

В начале эксперимента пользователь находится в расслабленном состоянии. Подается команда, после которой он начинает воспроизводить у себя в голове заранее выбранную музыкальную композицию. Далее подается вторая команда, после которой пользователь расслабляется и прекращает мыслительную деятельность. Эксперимент длится в течение 8 секунд. Время рассчитано из тех соображений, что частота дискретизации ЭЭГ составляет $1/128$, а для удобства последующей обработки полученных дан-

ных методом быстрого преобразования Фурье необходимо, чтобы количество выборок было пропорционально 2^k .

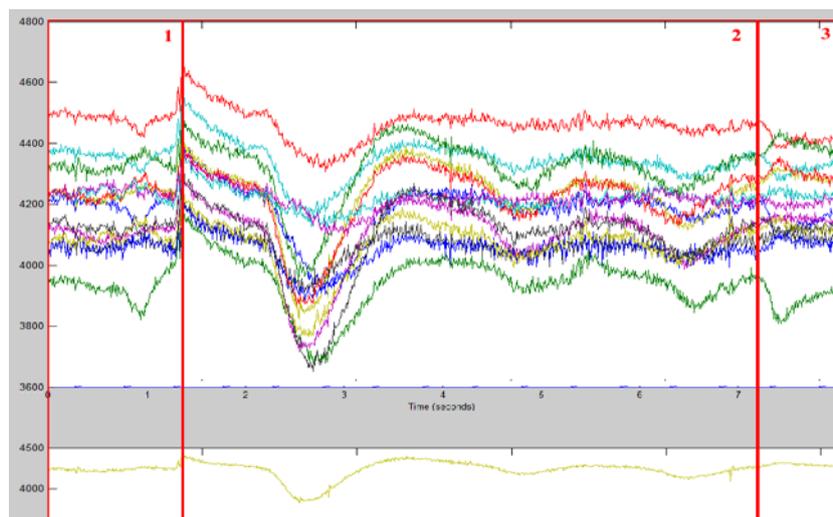


Рис. 3. ЭЭГ, полученная в результате второго эксперимента: 1 – пользователь расслаблен; 2 – пользователь мысленно воспроизводит музыкальную композицию; 3 – пользователь расслаблен

3. В третьей серии экспериментов мысленные образы формируются на основе реакции движения глаз [3]. Опыт состоит в следующем: в течение 8 секунд у пользователя снимают ЭЭГ, каждую секунду пользователь ориентирует закрытые глаза в определенную сторону (лево-право-вверх-вниз). Такая последовательность движений глаз является «мысленным паролем».

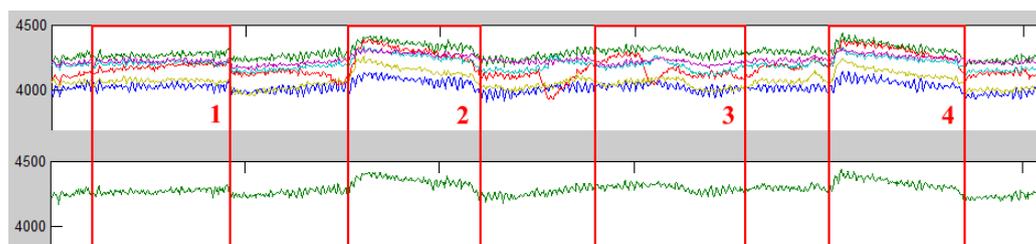


Рис. 4. ЭЭГ, полученное в результате третьего эксперимента: 1 – взгляд влево; 2 – взгляд вправо; 3 – взгляд вверх; 4 – взгляд вниз

Полученные результаты показывают, что для каждого из методов формирования мысленных образов существуют свои требования. Придерживаясь этих требований возможно получить весьма четкие мысленные образы, которые в дальнейшем можно использовать для высокоточной биометрической аутентификации.

Список литературы

1. Перцев А.О. Использование устойчивых мысленных образов в качестве элементов словаря для аутентификации / А.О. Перцев, М.Е. Маркин, Г.А. Любавский // Сборник докладов 61-й международной молодежной научно-технической конференции «Молодежь. Наука. Инновации», 21-22 ноября 2013 г. – Владивосток: Мор. гос. ун-т, 2013.- Т. 1.- С. 139-142.

2. Боршевников А.Е. Результат эксперимента по восстановлению секретного ключа по ЭЭГ с использованием нейросетевого преобразователя "Биометрия - код доступа" / А.Е. Боршевников, М.Е. Маркин // Сборник докладов 61-й международной молодежной научно-технической конференции «Молодежь. Наука. Инновации», 21-22 ноября 2013 г. – Владивосток: Мор. гос. ун-т, 2013.- Т. 1.- С. 126-128.

3. Киктев С.В. Создание интерфейса управления р/у моделью автомобиля, посредством движения глаз и бровей / С.В. Киктев, С.Я. Горишный, М.А. Шинкоренко // Сборник докладов 58-й международной молодежной научно-технической конференции «МОЛОДЕЖЬ-НАУКА-ИННОВАЦИИ», 24-25 ноября 2010 г. в 2-х т. – Владивосток: Мор. гос. ун-т, 2010.- Т. 1.- С. 150-153.

УДК 004.056.5

С. М. Гончаров, Г. А. Квачук, А. Е. Боршевников

ВОЗМОЖНОСТЬ ПРИМЕНЕНИЯ ДВУХФАКТОРНОЙ АУТЕНТИФИКАЦИИ НА ОСНОВЕ БИОМЕТРИЧЕСКИХ ДАННЫХ

В настоящее время идет активное развитие биометрических технологий. Одним из направлений развития являются методы высокоточной биометрические аутентификации человека. В данной статье мы рассмотрим систему, в которой будет применяться двухфакторная аутентификация, где первым фактором будет аутентификация по трёхмерной геометрии лица, а вторым – аутентификация по ЭЭГ с использованием нейросетевого преобразователя «Биометрия - код доступа». В рассматриваемой системе будет использоваться персональный идентификатор пользователя со встроенной микросхемой, на которой будут храниться данные необходимые для процедур аутентификации.

Рассмотрим первый фактор аутентификации. Системы биометрической аутентификации, основанные на трехмерной геометрии лица, обладают следующими преимуществами:

1. такие системы не требуют прямого физического контакта с пользователем.

2. снятие изображений лиц при помощи камер не представляет никаких технических трудностей.

Недостатком данного метода является то, что данные хранятся в открытом виде. И компрометация базы данных эталонных значений дает возможность сделать муляж биометрического признака [1]. Поэтому при подделке личности или при необходимости проведения более жесткой

проверки подлинности личности (например, для организации защиты в критических приложениях) в качестве второго уровня аутентификации можно применить аутентификацию на основе ЭЭГ. У этого вида биометрии существует свой ряд неоспоримых преимуществ:

- данные полученные из ЭЭГ конфиденциальны, их крайне сложно подделать;

- снятие ЭЭГ возможно только на расстоянии не более 1мм от поверхности головы пользователя, что обеспечивает дополнительную защищенность от перехвата злоумышленником и невозможность незаметного для пользователя съема данных.

Недостатком же данного метода является сложность реализации поддерживающей его инфраструктуры, которая позволяет использовать данный метод только как дополнительный механизм аутентификации [2,3].

ЭЭГ является трудно подделываемой неотъемлемой частью пользователя, но сама по себе слишком громоздка и неочевидна. Поэтому данные ЭЭГ используют для генерации уникального ключа, на основе которого и будет производиться аутентификация пользователя. Одним из методов генерации секретного ключа является использование нейросетевых преобразователей «Биометрия – код доступа». Нейросетевой преобразователь «Биометрия – код доступа» – это заранее обученная искусственная нейронная сеть с большим числом входов и выходов, преобразующая частично случайный вектор входных биометрических параметров «СВОЙ» в однозначный код криптографического ключа и преобразующая любой иной случайный вектор входных данных «ЧУЖОЙ» в случайный выходной код. Описанию данного нейросетевого преобразователя посвящена линейка стандартов ГОСТ Р 52633.

Во время генерации ключевой последовательности на основе данных ЭЭГ пользователя на выходе нейросетевого преобразователя мы получаем набор данных $\{k, \mu\}$, где k – сгенерированная ключевая последовательность, а μ – весовые коэффициенты нейронной сети. Значение криптографической хеш-функции от секретного ключа и набор весовых коэффициентов записываются в микросхему вместе с данными о трехмерной геометрии лица для дальнейшего использования в процедуре аутентификации.

Во время аутентификации нейросетевой преобразователь «Биометрия – код доступа» автоматически обучается под полученные от пользователя весовые коэффициенты нейронной сети. Далее происходит снятие ЭЭГ пользователя и генерация секретной ключевой последовательности на уже обученной нейронной сети и полученных биометрических данных. Аутентификация проходит успешно, если значение хеш-функции от полученной секретной ключевой последовательности и от содержащейся в микросхеме пользователя совпадут.

В заключение стоит сказать, что реализация описанной выше системы вполне осуществимая задача. Планируется проведение экспериментов по реализации двухфакторной аутентификации на основе геометрии лица и ЭЭГ пользователя.

Список литературы

1. Гончаров С.М. Генерация ключевой пары на основе 3-мерной геометрии лица с использованием дифференциально-геометрического представления / С.М. Гончаров, А.В. Первак // Доклады Томского государственного университета систем управления и радиоэлектроники: Научный журнал. – Томск: Изд-во ТУСУР, 2012. – № 1 (25), часть 2 – С. 161–165.
2. Боршевников А.Е. Результат эксперимента по восстановлению секретного ключа по ЭЭГ с использованием нейросетевого преобразователя "Биометрия - код доступа" / А.Е. Боршевников, М.Е. Маркин // Сборник докладов 61-й международной молодежной научно-технической конференции «Молодежь. Наука. Инновации», 21-22 ноября 2013 г. – Владивосток: Мор. гос. ун-т, 2013.- Т. 1.- С. 126-128.
3. Перцев А.О. Использование устойчивых мысленных образов в качестве элементов словаря для аутентификации / А.О. Перцев, М.Е. Маркин, Г.А. Любавский // Сборник докладов 61-й международной молодежной научно-технической конференции «Молодежь. Наука. Инновации», 21-22 ноября 2013 г. – Владивосток: Мор. гос. ун-т, 2013.- Т. 1.- С. 139-142.

УДК 681.536.6

В. Н. Забильский, Н. В. Сзребнев

ПЕРСПЕКТИВЫ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ СОЛНЕЧНЫХ КОЛЛЕКТОРОВ В ПРИМОРСКОМ КРАЕ

Использование солнечной энергии для теплоснабжения является одним из наиболее перспективных направлений использования возобновляемых источников энергии (ВИЭ).

Солнце – неисчерпаемый, экологически безопасный и дешевый источник энергии. Как заявляют эксперты, количество солнечной энергии, которая поступает на поверхность Земли в течение недели, превышает энергию всех мировых запасов нефти, газа, угля и урана[1]. Причем, солнечная энергетика является «чистой» и не оказывает отрицательного влияния на экологию планеты[2].

Потенциал солнечной энергии наиболее велик на юго-западе (Северный Кавказ, район Черного и Каспийского морей) и в Южной Сибири и на Дальнем Востоке (рис.1).

Приморский край обладает высоким энергетическим потенциалом солнечной энергии. Климатические условия в Приморье благоприятны для использования энергии солнца. Энергия солнечной радиации за один среднегодовой солнечный день составляет в Приморском крае 4 кВт/ч на 1 м², а в летние дни — по 4,5–5 кВт/ч. Учитывая, что продолжительность солнечного сияния в Приморском крае более 2000 часов в год (рис.2), то это создает хорошие возможности для развития гелиоэнергетической отрасли[3].

Одним из наиболее эффективных приборов, преобразующих солнечную энергию, является солнечный коллектор, который преобразовывает солнечное излучение в тепловую энергию.



Рис. 1. Потенциал солнечной энергии в России

Размещают солнечные коллекторы снаружи зданий, обычно на крыше, реже – на стенах или на земле. Важно, чтобы они не оказались в затененной зоне. Максимальный эффект достигается, когда солнечные лучи падают на коллектор под прямым углом, поэтому панели обычно ориентируют по солнцу, стараясь выдержать нужный угол наклона.



Рис. 2. Солнечные ресурсы России

Представляется целесообразным, выполнить сравнительную оценку интенсивности солнечной радиации, в зависимости от изменения угла падения солнечных лучей, приходящихся на фиксированную горизонтальную и вертикальную поверхности, а так же рассмотреть варианты с различными углами наклона к горизонту солнечного коллектора.

Наибольший практический интерес представляет оценка удельных тепловых потоков в дни зимнего и летнего солнцестояния, а так же в дни равноденствия.

Положение некоторой точки на земной поверхности относительно солнечных лучей в данный момент времени определяется тремя основны-

ми углами: широтой местоположения точки φ , часовым углом ω и склонением Солнца δ . Для определения угла падения прямого солнечного излучения i на произвольно ориентированную поверхность в любое светлое время суток, имеющую азимут a_n и угол наклона к горизонту β , с учетом широты местности, можно воспользоваться выражением:

$$\cos i = \sin\beta[\cos\delta(\sin\varphi\cos a_n\cos\omega + \sin a_n\sin\omega) - \sin\delta\cos\varphi\cos a_n] + \cos\beta[\cos\delta\cos\varphi\cos\omega + \sin\delta\sin\varphi]$$

Максимальное количество (за расчетный период) солнечной энергии коллектор получает в наклонном положении с оптимальным углом наклона к горизонту, зависящим от широты местности.

Среднемесячное суммарное количество солнечной энергии, поступающей на наклонную поверхность солнечного коллектора, определяется по формуле:

$$E_k = R * E,$$

где E – среднемесячное дневное суммарное количество солнечной энергии, поступающей на горизонтальную поверхность, МДж/(м²дни); R – отношение среднемесячных дневных количеств солнечной радиации, поступающей на наклонную и горизонтальную поверхности.

Коэффициент пересчета количества солнечной энергии с горизонтальной поверхности на наклонную поверхность солнечного коллектора с южной ориентацией равен сумме трех составляющих, соответствующих прямому, рассеянному и отраженному солнечному излучению.

Выполнены расчеты определения угла падения солнечного излучения на произвольно ориентированную поверхность в любое светлое время суток, которые показывают, что для максимального сбора солнечной энергии, необходимо менять угол наклона солнечного коллектора в зависимости от времени года (рис. 3). И для того, чтобы солнечные лучи падали в полдень на поверхность строго перпендикулярно, необходимо эту поверхность ориентировать под углом $\beta = 90 - \alpha$ (α - угол высоты Солнца), лишь в этом случае сможем получить максимальный теплосъем.

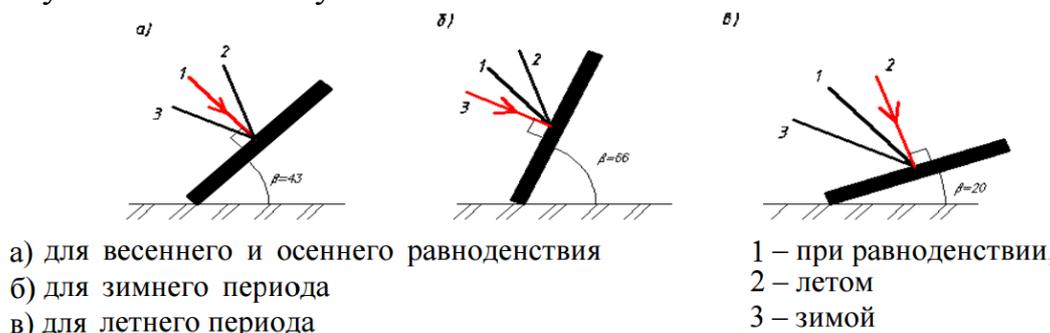


Рис. 3. Оптимальные углы наклона поверхности солнечного коллектора

Анализ результатов расчета поступления солнечной радиации показывает, что зимой на вертикально ориентированные поверхности солнечной радиации поступает в 2 раза больше, чем на горизонтальные участки. А с апреля по сентябрь, наоборот, максимум приходится на горизонтальные поверхности. Из графической интерпретации результатов расчета и экспериментально полученных данных (рис. 4), видно, что для условий Владивостока величины уровней потоков солнечной радиации, приходящиеся на горизонтальную и вертикальную поверхности в дни зимнего и летнего солнцестояния, противоположны, а в дни весеннего (и осеннего) равноденствия практически совпадают между собой.

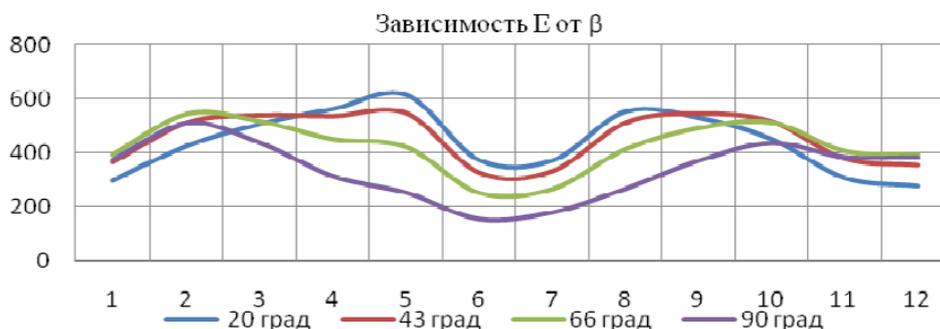


Рис. 4. Среднемесячное суммарное количество солнечной энергии (МДж/м²), поступающей на поверхности при различном угле наклона

Приморье идеально подходит для систем, использующих солнечную энергию по двум причинам: во-первых, широта 43°06'20" позволяет получить максимум солнечной энергии среди прочих районов России; во-вторых, муссонный климат обеспечивает сухие осень, зиму и весну, когда преобладают солнечные дни. Летом, когда много дождливых дней, энергия не расходуется на отопление, а идет только на нужды горячего водоснабжения. Солнечные коллекторы нагреваются и в пасмурную погоду, но менее эффективно, однако, достаточно для того, что бы нагреть воду. С ноября по апрель солнечных дней во Владивостоке в среднем 120. Причем солнце такое яркое, что даже в морозные дни в защищенном от ветра месте способно нагреть черные предметы до высоких температур[5].

В настоящее время широкое применение получили два основных типа солнечных коллекторов, при помощи которых нагревают воду для системы горячего водоснабжения (ГВС) и теплоноситель (вода, антифриз) для системы отопления зданий и сооружений:

- вакуумные трубчатые солнечные коллекторы;
- плоские солнечные коллекторы.

Плоские коллекторы различают по виду используемого теплоносителя на два типа: жидкостные и воздушные.

Основным элементом плоского жидкостного солнечного коллектора (рис. 5) является абсорбер или поглощающая пластина (1). В абсорбере происходит процесс преобразования солнечной энергии в тепловую энергию. Тепловая энергия передается с поверхности абсорбера теплоносителем.

лю. Абсорбер может быть изготовлен из различных материалов, таких как медь, алюминий, стекло и может иметь различную форму. В одних конструкциях теплоноситель пропускается по трубкам (2), припаянным или приваренным к пластинам, улавливающим солнечное излучение. В других конструкциях абсорбер представляет собой штампованные пластины, в которых образованы каналы для теплоносителя (рис. 6). Теплоноситель благодаря хорошему тепловому контакту с абсорбером нагревается и затем передает тепло. С боков и снизу корпус солнечного коллектора имеет тепловую изоляцию (3), сверху – прозрачное покрытие (4), также выполняющее роль теплоизоляции.

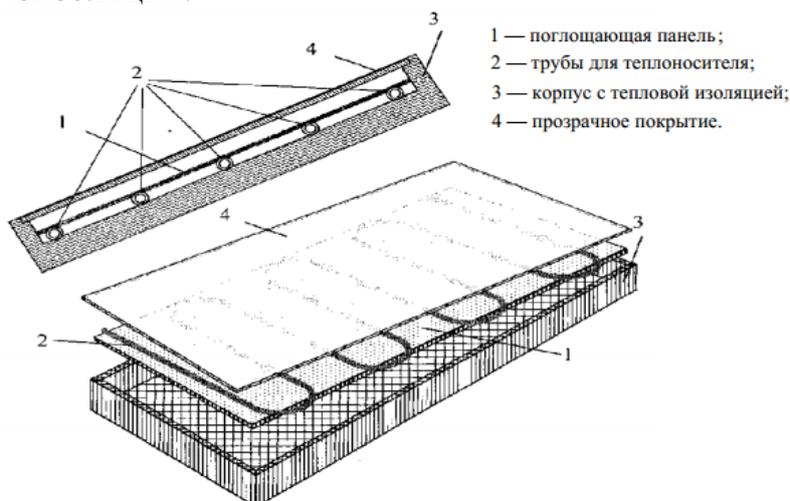


Рис. 5. Схема плоского солнечного коллектора

При падении излучения на поверхность абсорбера поглощается не вся энергия — часть ее отражается. Чем выше поглощательная способность воспринимающей излучение поверхности, тем большая часть солнечной энергии будет поглощена. Коэффициент поглощения может быть увеличен, если на полированную поверхность металлического листа нанести слой специального поглощающего селективного покрытия.

Корпус коллектора утепляется с нижней и боковых сторон. Для утепления используют слой из пористого материала, имеющего низкую теплопроводность. Прозрачное покрытие (стекло) значительно снижает тепловые потери за счет уменьшения конвективных потерь, а также стекло пропускает почти все солнечное излучение и не выпускает большую часть инфракрасного (теплого) излучения от поглощающей пластины.

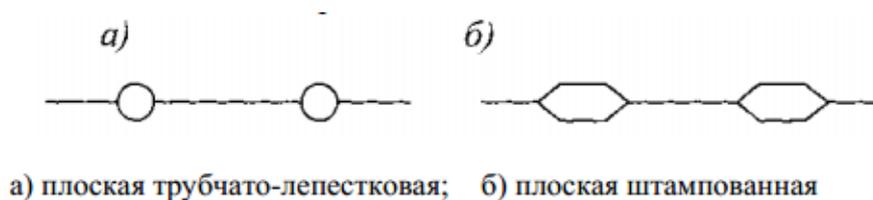


Рис. 6. Схема конструкций абсорбера.

Потери тепла через прозрачное покрытие можно сократить, используя двойное остекление с небольшим зазором между стеклами. Увеличить приблизительно в два раза тепловое сопротивление прозрачного покрытия можно, применив не двойное, а тройное остекление: между стеклами будет два воздушных зазора. Вместе с тем каждый слой стекла увеличивает общее отражение света. Поэтому на практике не используют более чем трехслойное остекление, а в жидкостных коллекторах обычно ограничиваются двумя. К тому же каждый слой остекления увеличивает стоимость коллектора.

Под воздушными коллекторами понимают коллекторы солнечной энергии, которые в качестве теплоносителя используют воздух. В настоящее время они широко распространены в США и значительно меньше в странах Средней Европы.

Хотя воздушные коллекторы распространены меньше, чем жидкостные, у них имеется несколько важных преимуществ по сравнению с коллекторами на жидких теплоносителях:

- воздушные коллекторы не замерзают зимой;
- не представляет опасности утечка теплоносителя летом при перегреве;
- значительно меньше проблем, связанных с коррозией;
- воздушные коллекторы проще в изготовлении и гораздо дешевле;
- нет потерь тепла в теплообменниках, при непосредственном использовании нагретого в коллекторах воздуха;
- пожарная безопасность.

Благодаря этим достоинствам они хорошо подходят для индивидуального строительства – их легко собрать на месте предстоящего применения, что приводит к меньшим расходам.

Воздушные коллекторы делают плоскими. Они состоят из корпуса, прозрачного верхнего покрытия, абсорбера и теплоизоляции нижней и боковых стенок корпуса. Относительно выбора материала для различных компонентов, корпуса и обеспечения стойкости к атмосферному воздействию нужно соблюдать те же основные правила, что и для жидкостных коллекторов.

По конструкции абсорбера различают два класса воздушных коллекторов: с газопроницаемыми матричными абсорберами (рис. 7); с воздухо- непроницаемыми обтекаемыми (чаще всего с тыльной стороны) плоскими абсорберами (рис. 8).

Воздушный коллектор с газопроницаемым матричным абсорбером состоит из поглотителей из пористого материала с открытыми порами. К примеру, это могут быть слои черных пористых текстильных материалов или пенопластовые пластины, которые размещают на пути воздуха как воздушные фильтры. Излучение солнца поглощается не только в поверхностном слое абсорбера, но и в его объеме. Между прозрачным покрытием и абсорбером оставляют щель переменной ширины для подачи воздуха к абсорберу. Когда воздух фильтруется через абсорбер, тот отдает свое теп-

ЛО ВОЗДУХУ.

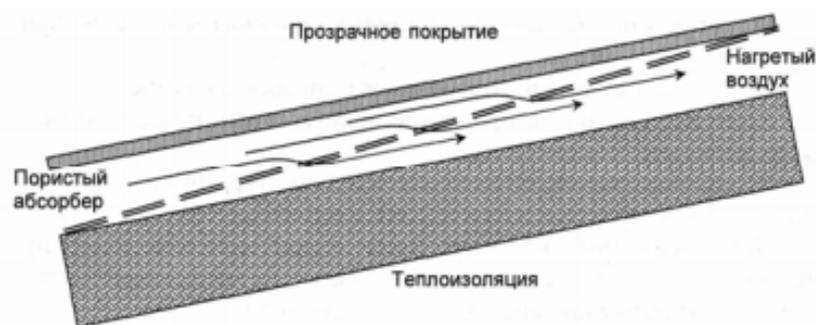


Рис. 7. Солнечный воздушный коллектор с матричным абсорбером

Противоположность матричным представляют коллекторы с обтекаемым плоским абсорбером из герметичного материала, как правило, листового металла. Как показано на рисунке 8, воздух устремляется параллельно обтекаемому абсорберу либо вдоль обеих поверхностей абсорбера, либо только вдоль его тыльной поверхности. Тепло отдается стенками абсорбера воздуху конвекцией и теплопроводностью.

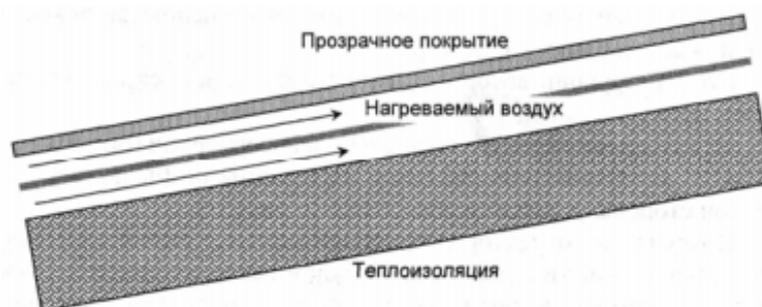


Рис. 8. Солнечный воздушный коллектор с воздухонепроницаемым абсорбером

Когда коллектор используется для подогрева наружного воздуха, обычно выгоднее коллекторы с газопроницаемым матричным абсорбером. Дело в том, что когда наружный воздух имеет низкую температуру, прозрачное верхнее покрытие оказывается холодным, и при использовании конструкции с воздухонепроницаемым абсорбером, обтекаемым воздухом с обеих сторон, тепловые потери через прозрачное покрытие велики. В этом случае, или если в обычных условиях требуется нагревать воздух до более высокой температуры, часто выгоднее конструкции, у которых воздухонепроницаемый абсорбер обтекается воздухом только с тыльной стороны. Нагретый воздух тогда не имеет непосредственного контакта с холодным прозрачным верхним покрытием, и коэффициент теплоотдачи получается ниже.

Предусмотреть хорошую передачу теплоты от абсорбера к теплоносителю и обеспечить достаточно высокий коэффициент эффективности абсорбера при конструировании воздушных коллекторов важнее, чем при

конструировании жидкостных коллекторов. Теплопроводность воздуха в 24 раза меньше теплопроводности воды. Поэтому нужно стремиться создать по возможности большую поверхность теплообмена и узкое поперечное сечение воздушного потока. Вместе с тем нужно предусмотреть, чтобы гидравлическое сопротивление и, соответственно расход электроэнергии на работу вентиляторов, обеспечивающих движение теплоносителя, не были большими. В канале гидравлическое сопротивление потоку быстро растет с ростом средней скорости воздуха. И хотя коэффициент теплоотдачи от абсорбера воздуху при этом тоже может расти, его рост будет происходить медленнее. В конкретных конструкциях воздушные каналы в коллекторе следует оптимизировать. Цель оптимизации состоит в том, чтобы при по возможности большей поверхности контакта с абсорбером для эффективной теплоотдачи в них не было чрезмерного падения давления воздуха.

Вакуумные коллекторы применяются там, где нужна вода более высокой температуры. Солнечная радиация проходит сквозь наружную стеклянную трубку, попадает на трубку-поглотитель и преобразуется в тепловую энергию. Она передается теплоносителю, протекающему по трубке. Коллектор состоит из нескольких параллельных рядов стеклянных трубок, к каждой из которых прикреплен трубчатый поглотитель с селективным покрытием. Нагретый теплоноситель циркулирует через теплообменник и отдает тепло воде, содержащейся в баке-накопителе.

Вакуумные коллекторы являются модульными, т.е. трубки можно добавлять или убирать по мере надобности, в зависимости от необходимого количества тепла. При изготовлении коллекторов этого типа из пространства между трубками высасывается воздух и образуется вакуум, как в стеклянной колбе обычного термоса. Благодаря этому устраняются потери тепла, связанные с теплопроводностью воздуха и конвекцией, вызванной его циркуляцией. Остается радиационная составляющая потерь тепла (тепловая энергия движется от теплой к холодной поверхности, даже в условиях вакуума). Однако эта часть потерь мала и незначительна по сравнению с количеством тепла, передаваемого жидкости в трубке-поглотителе.

Существует множество различных видов вакуумных коллекторов. В некоторых внутри трубки-поглотителя проходит еще одна, третья стеклянная трубка; есть и другие конструкции теплопередающих ребер и жидкостных трубок. Существует вакуумный коллектор, который вмещает по 19 литров воды в каждой трубке, устраняя, таким образом, потребность в отдельном баке для хранения воды. Можно также разместить позади вакуумных трубок рефлекторы, чтобы дополнительно концентрировать на коллекторе солнечную радиацию.

Вакуумная трубка похожа на обычный сосуд Дьюара и состоит из двух боросиликатных стеклянных трубок (рис. 9). Диаметр трубок – 47 – 58 мм, длина – 1,2 – 1,8 м, давление вакуума в пространстве между стенками – 0,005Па.

Сосуд Дьюара – сосуд, предназначенный для теплоизоляции содержащегося в нём вещества, и представляет собой колбу с двойными или

кратными стенками, между которыми выкачан воздух, чтобы избежать конвекционной теплопередачи. Сосуд Дьюара был изобретён шотландским физиком и химиком сэром Джеймсом Дьюаром в 1892 году. Первые сосуды Дьюара для коммерческого использования были произведены в 1904 году, когда была основана немецкая компания Термос (нем. Thermos GmbH).

Для уменьшения потери на излучение обе внутренние поверхности колбы покрывают отражающим слоем. Имея селективное в двенадцать слоев покрытие, состоящее из трех или пяти групп слоев, вакуумные трубки поглощают максимум падающей энергии (в том числе и отраженной), коллектор работает и тогда, когда солнце закрыто облаками.

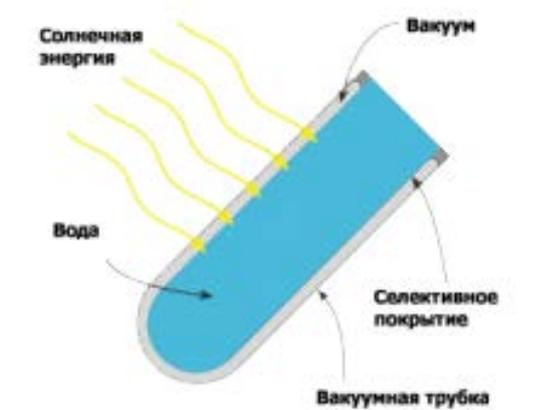


Рис. 9. Схема работы вакуумной трубки коллектора

Стекло выполнено с высокой степенью химической стойкости, теплостойкости и ударной прочности. На поверхность наружной части внутренней трубы нанесено селективное покрытие для поглощения солнечных лучей.

Внутренняя труба с нанесенным покрытием закрывается с одного конца и запечатывается с другого конца наружной трубы. В кольцеобразном пространстве между внутренней и наружной трубами создается вакуум для эффективного уменьшения потери тепла с использованием проводимости и конвекции.

Кроме этого коллекторы с цилиндрической абсорбционной поверхностью имеют ряд неоспоримых преимуществ. Благодаря цилиндрической форме трубок солнечные лучи в течение дня падают на одинаковую по площади поверхность, это как бы плоский коллектор, поворачивающийся на одной оси за солнцем (рис. 10).

Так конструктивно выполнено пассивное слежение за солнцем, позволяющее коллекторам работать стабильно с максимальной производительностью в течение всего дня.

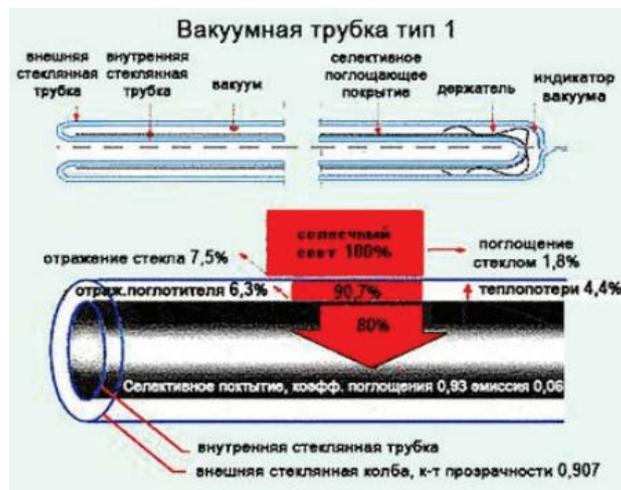


Рис. 10. Конструкция и схема распределения потерь в трубке коллектора

Теплоаккумулирующий бак и трубки коллектора объединены вместе. Горячая вода, нагревшись в трубках коллектора, поднимается в бак, а более тяжелая холодная вода из бака опускается в трубки (рис. 11).

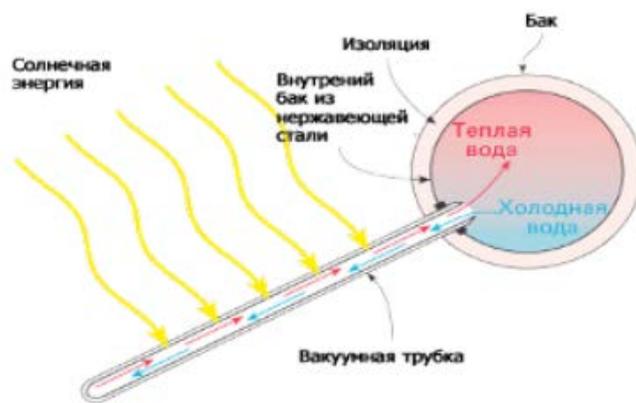


Рис. 11. Схема работы вакуумной трубки коллектора

Таким образом, происходит нагрев воды в теплоаккумулирующем баке. Холодная вода поступает в нижнюю часть бака, а горячая вода расходуется из верхней части бака.

Сложно однозначно решить какой тип солнечных коллекторов лучше – у каждого есть свои недостатки и преимущества:

1. Плоские коллекторы имеют простую конструкцию, поэтому считаются прочнее и надежнее вакуумных. Последние потенциально более хрупкие, так как поврежденная стеклянная трубка теряет свои свойства и требует замены.

2. Стоимость ремонта плоского коллектора выше, потому что в случае аварии придется менять весь поврежденный модуль. В коллекторе вакуумного типа замене подлежат только поврежденные трубки. Устройство в это время может работать.

3. Плоские коллекторы более эффективны при нагреве воды на 20...40°C выше температуры окружающей среды. Вакуумные коллекторы позволяют нагревать воду до температуры кипения.

4. Плоские коллекторы эффективнее работают в теплом климате. У вакуумных коллекторов ниже теплопотери, поэтому они эффективны в зимнее время при температурах до -30°C.

5. Плоские коллекторы удобны в уходе – на них не задерживаются иней и снег. Вакуумные неспособны к самоочищению, они не работают, пока с них не уберут снег.

Список литературы

1. Солнечная энергетика России: перспективы и проблемы развития [Электронный ресурс]: информационный портал.- / Электронные данные. – Москва, 2012. – Режим доступа: <http://russiagreen.ru>

2. Нужна ли солнечная энергетика в России? [Текст] // Энергетика и промышленность России . – 2007. - № 4.

3. Вестник Краснодарского регионального отделения Русского географического общества: сборник Вып. 7 / отв. ред.: И. Г. Чайка, Ю. В. Ефремов. — Краснодар, 2013–399 с.

4. Плотницкий И. О., Перспективы использования солнечных коллекторов в России / Плотницкий И.О.//Индустрия. – 2011. – № 3. – с. 62.

5. Штым А. С., Анализ поступления солнечной радиации в Приморском крае и г. Владивостоке [Текст] / А.С. Штым, И.А. Журмилова // Вестник инженерной школы ДВФУ. 2012. № 1 (10): сб. статей. – Владивосток, 2012. – С. 102-106.

УДК 621.372

Ю. В. Калачевская, С. Н. Павликов

РАЗРАБОТКА УСТРОЙСТВА АВТОМАТИЧЕСКОГО СОПРОВОЖДЕНИЯ СПУТНИКА СИСТЕМЫ СВЯЗИ

Объект исследования – устройства автоматического сопровождения спутника системы связи.

Предмет исследования – технологии повышения точности сопровождения спутника связи.

Цели выполнения НИР – увеличение количества продаж антенн спутниковых систем связи с улучшенными характеристиками за счет стабилизации по лучу и формирования нескольких пространственных каналов.

Назначение научно-технического продукта (изделия) заключается в следующем. Дополнительно к механическому формированию реализуется электронное формирование характеристики направленности, что позволит добиться:

- расширения диапазона углов слежения за спутником;
- улучшение динамических характеристик сопровождения по лучу;
- обеспечение мягкого автоматического перехода судового терминала с одного спутника на другой.

Научная новизна подтверждена в ходе патентного поиска по базе данных (БД) Роспатента при котором не выявлены изобретения с совпадающими признаками и полученным результатом.

Обоснование необходимости проведения НИР заключается в следующем. Сегодня спутниковые системы работают, как правило, с одним спутником, и даже у VSAT пропускная способность небольшая [1,2]. Известно, что одним из методов пропускной способности системы является распараллеливание потоков [2,3].

Возникает вопрос, можно ли повысить скорость VSAT-а за счет формирования двух и более параллельных каналов через разные спутники. Механическое наведение антенны с этой задачей не справится. Только электронное сканирование позволяет формировать несколько лучей или трасс обмена информации. И от стабилизации, естественно, отказаться не можем, ее существующая система гидравлической стабилизации. Обеспечение возможности формирования каналов для связи с несколькими спутниками является качественным революционным скачком в развитии радиотехнологий [1,4].

Предлагаемое техническое решение может быть использовано в мобильных, сотовых системах связи. Тогда мобильный телефон сможет формировать несколько пространственных направленных каналов с разными базовыми станциями одновременно. Известно, что следующее поколение мобильных систем связи 5G будет отличаться от существующих наличием цифровых активных антенных решеток, в этом плане данная работа направлена на упреждение таких технологий [5,6].

Основные технические параметры предлагаемого технического решения определены в виде следующих направлений:

- формировать несколько лучей направленных на разные спутники;
- повысить помехоустойчивость за счет уменьшения влияния помех, распределенных по пространству;
- исключить потерю синхронизации передаваемых данных при жестком переходе с одного спутника на другой;
- повысить угловую чувствительность при сопровождении по лучу.

Структурная схема усовершенствованного устройства антенной системы VSAT приведена на рисунке 1.

Следует отметить, что предлагаемая технология свободно может быть перенесена на другие антенны причем не обязательно связанные. В этом и преимущество предложенного технического решения. При исследовании был проведен патентный поиск, наиболее близкие технические решения приведены в описании [4-6].

Выполнение проекта по программе УМНИК позволит снизить риски при подготовке к коммерциализации данного технического решения пу-

тем выбора наилучшего варианта его исполнения по техническим и экономическим характеристикам. Результаты сравнения приведены в таблице 1.

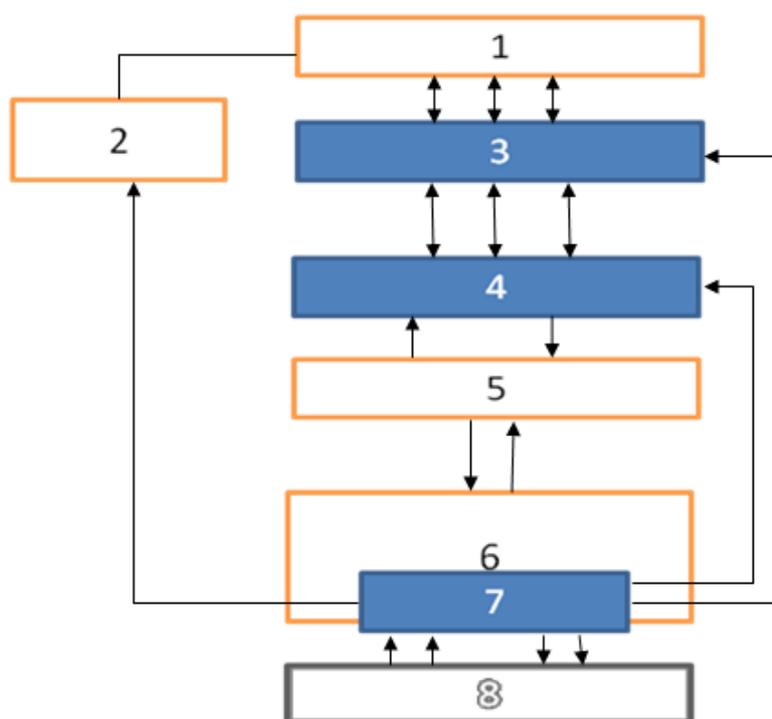


Рис. 1. Структурная схема усовершенствованного оборудования VSAT
 1 – Параболическое зеркало; 2 – Схема стабилизации; 3 – Приемо-излучатели; 4 – Коммутатор антенной решетки; 5 – Приемо-передающий блок СВЧ; 6 – Внутренний блок; 7 – Дополнительный процессор управления антенной решеткой; 8 – Потребители

Таблица 1

Особенности – преимущества – выгода

Особенность	Преимущество	Выгода
Электронное формирование характеристик направленности антенны	Расширен диапазон углов сопровождения спутников	1. Мягкий переход от спутника к спутнику
		2. Работа с двумя и более спутниками
		3. Распаралеливание процессов обмена информацией
Дополнительная электронная стабилизация	Позволяет уменьшить требования к механизмам стабилизации и уменьшить размер антенны	1. Снижает требования к конструкции
		2. Повышает надежность стабилизированной системы
		3. Снижает парусность

План реализации по годам и кварталю:

1-й год:

1. Оформление проекта и технического решения.

2. Анализ технических решений, предназначенных для реализации проекта и выбор технологий. Выбор архитектуры и оборудования.

3. Расчет технических и эксплуатационных параметров. Оценка себестоимости реконфигурации.

4. Согласование предлагаемых технических решений с производителем оборудования.

2-й год:

1. Поиск производителя размещение заказа на опытную партию.

2. Выбор оборудования.

3. Тестирование и корректура программно-аппаратных решений.

4. Анализ полученных результатов. Отчет проекта. Корректура технического решения, технической документации и разработка плана внедрения.

Таким образом, предложенное техническое решение соответствует технической и экономической эффективности.

Список литературы

1. Новиков А. Самонаводящиеся спутниковые антенны и мобильные комплексы связи [Электронный ресурс] // "Технологии и средства связи" №2, 2015.

2. Бурдик В.С. Анализ гидроакустических систем [текст]. - Л.: Судостроение, 1988.

3. Самойлов Л.К. Электронное управление характеристиками направленности антенн. – Л.6 Судостроение, 1987. – 280с.

4. Патент №2054692 РФ, МКП G01S15/00. Способ формирования характеристики направленности антенной решетки и устройство для его осуществления /С.Н. Павликов и др.

5. Патент 2486643 РФ, МКП G 01 S 15 /00. Антенная решетка.

6. Патент 2296400 РФ, МКП G 01 S 15 /00. Антенная система.

УДК 621.372

О. В. Клева, С. Н. Павликов, Е. И. Убанкин, О. В. Солодков

МЕТОД ЗАЩИТЫ ИНФОРМАЦИИ В РАДИОКАНАЛЕ

Объект исследования – канал передачи информации с повышенной защищенностью.

Предмет исследования – защиты информации в телекоммуникационных радиосетях на базе пространственного разделения.

Цель – разработка и исследование методов защиты информации, передаваемой по радиосетям на базе методов управления траекториями доставки элементов сообщения, позволяющих увеличивать защищенность сообщений. Используются методы системного анализа, математическое

моделирование, теория массового обслуживания, теория телетрафика. Сегодня в мире важнейшим ресурсом является информация. В настоящее время активно развиваются методы нападения, и их количество возрастает быстрее, чем число методов защиты.

Поэтому актуальными остаются исследования в области создания новых методов увеличения защищенности информации в радиоканалах от несанкционированного ее получения. Несмотря на то, что сейчас используется огромное количество автоматизированных и компьютерных систем для обработки информации, человеческая речь все же является немаловажным способом информационного обмена. Одной из главных качественных характеристик сеанса связи остается конфиденциальность передаваемой информации. В случае осуществления сеанса связи в помещении или на заранее условленной территории, задача защищенности переговоров практически всегда может быть решена. Цена этого решения определяется затратами и неудобствами взаимодействующих сторон. Если же речь идет о защите данных от их несанкционированного съема в канале связи который более подвержен внешним угрозам, то в этом случае обеспечить информационную защиту значительно сложнее. Необходимость разработки и исследования новых систем со скрытой передачей информации объясняется уязвимостью существующих способов защиты информации. Известные методы защиты базируются на сложных математических задачах: криптографии, кодирования, модуляции, организации протоколов взаимодействия и разделения сигналов. Однако наличие таких методов известно и разработаны способы снижения их эффективности за счет ограниченного представления сигналов, каналов и методов их трансформации.

По этой причине необходим поиск новых методов, обладающих расширенным потенциалом сигнального, канального, информационного и других пространств модели радиообмена.

Вопросами расширения пространства многоуровневых математических моделей радиосвязи в разное время занимались такие исследователи, как К. Шеннон, В.Ф. Комарович, Барадеи, И. А. Голяницкий, В. Г. Кулаков, Н. Н. Клименко, А. Н. Обухов, В. И. Борисов и другие. Анализ работ по организации скрытых логических, информационных и физических каналов в телекоммуникационных радиосетях показал не использованный потенциал пространственного разделения. Данное направление мало изучено. Поэтому разработка и исследование новых методов пространственного маскирования является актуальной задачей.

Для достижения поставленной цели были получены следующие результаты: уточнены классификация методов повышения информационной скрытности и критерии оценки их эффективности, разработана математическая модель радиоканала с пространственным кодированием и методика подготовки сигнала для пространственного кодирования.

Построение скрытных систем радиосвязи базируется на энергетических, структурных и информационных методах снижения заметности радиообмена, что отражено в таблице 1.

Разновидности скрытности радиообмена

Вид скрытности	Комментарий	Соответствующий этап
Энергетическая	Зависит от энергии сигнала. Ее цель – скрыть факт передачи сигнала, чтобы нельзя было выделить и зафиксировать передаваемые сигналы.	Этап обнаружения сигнала
Структурная (алгоритмическая)	Зависит от структуры защищаемого сигнала. Алгоритм формирует правила, по которым из переданной смеси различных сигналов и помех можно извлечь нужную информацию.	Этап различения и идентификации сигнала
Информационная	Предназначена для скрытия истинного смысла сообщения от станции радиоразведки.	Получение информации

В процессе исследования были приняты допущения, что противная сторона имеет возможность контроля радиоизлучений и измерения их параметров. Были рассмотрены варианты взаимного расположения радиоканала и станции радиоразведки.

Показано, что вариант расположения станции радиоразведки у передатчика имеет максимальную угрозу получения информации, а у радиоприемника наибольшую вероятность подавления канала для традиционных методов разделения каналов. Расширенная классификация методов разделения каналов приведена в [1].

Среди указанных способов предлагается рассмотреть группу методов пространственного разделения, среди которых используются: методы селекции по дальностям, по направлениям и их сочетания.

Сущность предлагаемого метода передачи информации заключается в том, что исходная информация должна быть поделена на несколько частей таким образом, чтобы каждая часть была дополнена ложной информацией, либо несколькими пакетами ложной информации. В результате такого разделения, в сумме мы получим не раскрываемый защищенный текст. Вариант метода подразумевает деление информационных блоков на две составляющие, которые дополняют друг друга. Первая составляющая – это большая часть информации, а вторая – ключ. Разделение происходит следующим образом: исходный информационный сигнал во времени переводится в спектр, из спектра вычитаются заданные компоненты в виде дискретных составляющих, оставшийся обрезанный сигнал переводится снова во временную область и потом подается к антенне для излучения. Затем вырезанные части ключа, преобразуются из спектра во временную область и тоже подаются

на передатчик для излучения. Ложная информация также передается на передатчик для дальнейшего излучения. В результате, мы получаем три потока: обрезанная информация, ключ и ложная информация. Под ключом мы понимаем те дискретные составляющие, которые были вырезаны.

Антенны передатчиков, в свою очередь, формируют излучение передаваемой информации по направлению к определенной заданной точке переизлучения. Ключ формируется другой антенной системой и направляется под углом таким способом, чтобы обрезанная информационная составляющая и ключ сложились синфазно в заданной точке пространства. Вокруг полезной передаваемой информации излучается ложная информация. Это происходит с той целью, чтобы создать фон и отвлечь внимание противной стороны.

Приемной стороне заблаговременно известно, в какой точке необходимо будет осуществлять съем информации, и именно в этом направлении будет сфокусирована приемная антенна. В этой точке уже будут сложены обрезанная информация и ключ, в результате чего принимающая сторона имеет возможность получить часть нужной информации. После того как необходимые данные будут приняты в заданный момент времени, система перестроится для приема информации в следующей точке и в другой участок времени. То есть будет выбрана другая точка пространства, на другой частоте и с другим ключом. Такого рода изменения можно назвать методом кодирования по пространству с меняющимся ключом. Алгоритм реализации предлагаемого метода сокрытия информационных данных приведен на рисунке 1.

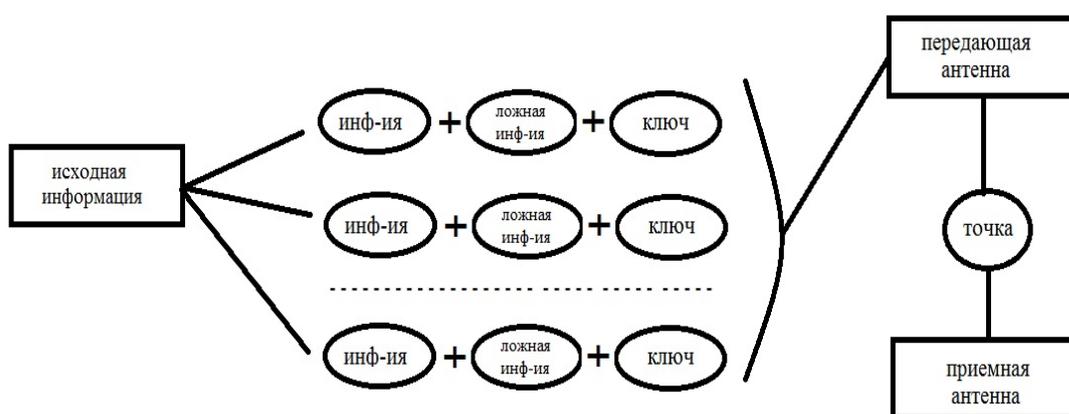


Рис. 1. Алгоритм работы метода

Описываемый метод показывает, что разделение информационного потока на несколько составляющих, а именно на ложную информацию, обрезанную информацию и ключ, а также дополнительные помехи от других источников затрудняют съем информации противной стороной в определенном направлении. При этом все составляющие части

складываются энергетически, что обеспечивает скрытность логической структуры информационного сигнала. Снятие информации приемной стороной в различных точках пространства с изменением частоты, времени работы на том или ином участке, ключа усложняет процесс любого вскрытия и съема.

На рисунке 2 приведен пример трассы, по которой передается информация, а также указано возможное положение противной стороны (станции радиоразведки) при осуществлении сеанса связи.

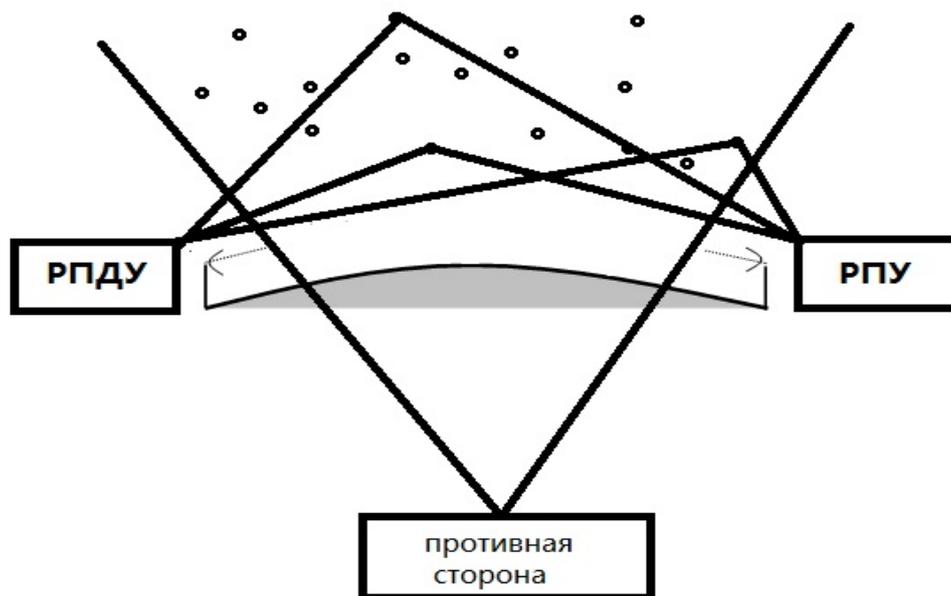


Рис. 2. Графическое изображение местоположения сторон в момент сеанса связи

Таким образом, продемонстрировано, что даже наличие высокопроизводительных компьютеров не сможет обеспечить вычисления всех вариантов возможных трасс и точек, через которые можно получить информационную составляющую. Потому вариантов столько, сколько сочетания точек в зоне прямой видимости. При этом получение информации обуславливается не только выбором точки, но и также зависит от периода жизни этой точки, ключа, частоты, поляризации и других параметров разделения каналов [1, 2].

Преимущество описываемого метода кодирования по пространству с меняющимся ключом заключается в том, что, как правило, информационная система (передающая, приемная, и информационная система противной стороны) имеет ограниченное количество каналов. Если мы увеличиваем количество ложной информации, увеличиваем количество трасс передачи информации или увеличиваем количество частот, на которых параллельно передаем информацию, мы тем самым снижаем скорость передачи информации или упрощаем процесс по вскрытию механизма закрытия информации противной стороны. В данном случае за счет того, что мы можем передавать информацию даже

одновременно в разные точки, появляется возможность увеличения пропускной способности канала.

Реализация предлагаемого метода подразумевает ряд условий.

Во-первых, выбранные точки должны быть видны как на приемной, так и на передающей стороне одновременно. Приемник и передатчик могут не находиться в зоне прямой видимости, но точка, в которую излучается информация, должна быть видна как для приемной, так и для передающей стороны.

Во-вторых, область пространства, в которой передается информация, должна определяться сектором в заданных пределах. Например, задан конкретный сектор от антенны передающей стороны и такой же сектор с приемной стороны, их пересечением и будет определена область передачи данных. Естественно, противная сторона вынуждена будет просматривать множество точек, но, не зная, как собирается информация во времени и каким образом осуществляется переход с одной точки на другую, возможность вскрытия будет минимизирована, что и может привести к перегрузке информационной системы злоумышленников, а также прекращению несанкционированного съема. Выбор трасс и точек зависит от возможного расположения средств радиоразведки, при этом количество вариантов достаточно велико. Предложенный метод предъявляет повышенные требования к передающей, приемной и станции радиоразведки.

Таким образом, в работе предложен метод защиты информации в радиоканале, значительно затрудняющий работу станциям радиоразведки.

Список литературы

1. Методика оценки эффективности методов управления мобильными радиоресурсами [Текст] / Веселова С.С., Павликов С.Н. // Вестник Морского государственного университета. Сер. Автоматическое управление, математическое моделирование и информационные технологии. – Владивосток: Мор. Гос. ун-т, 2011. – Вып. 45. С. 3 – 13.
2. Оптимизация телекоммуникационных систем [Текст]: Монография / Веселова С.С., Павликов С.Н., Убанкин Е.И., Шевцова Е.А. – Владивосток: Мор. Гос. ун-т, 2013. – С. 100.

УДК 681.3: 519.168

С. Ф. Ключева

ОПТИМИЗАЦИЯ АЛГОРИТМА ПОИСКА КРАТЧАЙШЕГО ПУТИ

Задача поиска кратчайших путей имеет приложения в различных исследованиях: в планировании топологии телефонных сетей, трубопроводов

и шоссейных дорог; в задачах оптимизации маршрута трассы морских путей и разводки микросхем [1]. В более сложных формулировках задачи поиска кратчайших путей можно учитывать географические свойства местности, а также отыскивать кратчайшие соединения между узлами уже существующих сетей. Поиск кратчайших путей в нагруженном графе с относительно небольшим числом вершин можно осуществить, используя классические алгоритмы Дейкстры, Флойда – Уоршелла, Беллмана – Форда.

Алгоритм Дейкстры, позволяет найти кратчайшие пути от выбранной вершины до всех остальных вершин нагруженного графа без рёбер отрицательного веса. Этот алгоритм является самым простым алгоритмом из исследуемых. Алгоритм Флойда – Уоршелла динамический алгоритм для нахождения кратчайших путей между всеми вершинами взвешенного ориентированного графа [2, 3].

Алгоритм Беллмана – Форда алгоритм поиска кратчайшего пути во взвешенном графе, находит кратчайшие пути от одной вершины графа до всех остальных и, в отличие от алгоритма Дейкстры, допускает рёбра с отрицательным весом [2 – 4].

При увеличении входных данных указанные алгоритмы поиска кратчайшего пути нереализуемы за полиномиальное время. В этих случаях переходят к приближенным (жадным) алгоритмам. Основной вопрос для приближенных алгоритмов заключается в том, как найти решение, например, кратчайший путь, не просматривая все варианты, и все вершины графа?

Один из способов решения подобных задач из класса NP-полных задач – провести редуцирование NP задачи к другой задаче класса P, для которой уже известен алгоритм поиска решения за полиномиальное время.

Другой подход для класса NP задач основан на двухшаговом подходе [2]. На первом шаге недетерминированный алгоритм генерирует возможное решение. На втором шаге проверяется, действительно ли найдено верное решение. Такое решение может оказаться оптимальным или близким к оптимальному решению, иногда безуспешным. Каждый из шагов требует полиномиального времени, но число обращений к ним, может оказаться экспоненциальным или факториальным.

Решения, предлагаемые приближенными алгоритмами, не являются в полной мере оптимальными, поскольку приближенные алгоритмы просматривают только часть возможных решений, т.е. множество возможных решений для набора входных данных.

Рассмотрим алгоритм построения кратчайших путей на примере алгоритма Флойда. Задан граф $G = (V, E)$ трассы морского пути, рис. 1.

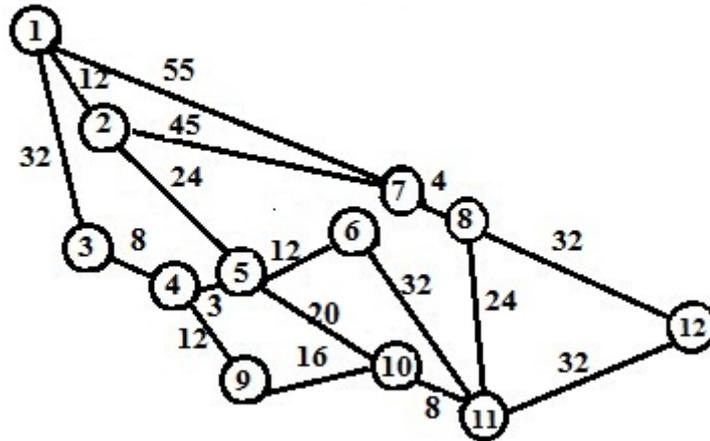


Рис. 1. Трасса морского пути

Весы всех рёбер неотрицательны, $\omega(i, j) \geq 0$. Матрица весов $W^0(i, j)$ построена следующим образом:

$$W^0(i, j) = \begin{cases} 0, & \text{если } i = j \\ \omega_{ij}, & \text{если } v_i v_j \in E, i \neq j \\ \infty, & \text{если } v_i v_j \notin E, i \neq j \end{cases} \quad (1)$$

Исходная матрица весов $W^0(i, j)$ графа имеет вид (рис. 2), символ «Inf» соответствует бесконечности («infinity»), для тех пар вершин, которые не соединены ребром.

Matrix weight												
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
1	0	12	32	Inf	Inf	Inf	55	Inf	Inf	Inf	Inf	Inf
2	12	0	Inf	Inf	24	Inf	45	Inf	Inf	Inf	Inf	Inf
3	32	Inf	0	8	Inf							
4	Inf	Inf	8	0	3	Inf	Inf	Inf	12	Inf	Inf	Inf
5	Inf	24	Inf	3	0	12	Inf	Inf	Inf	20	Inf	Inf
6	Inf	Inf	Inf	Inf	12	0	Inf	Inf	Inf	Inf	32	Inf
7	55	45	Inf	Inf	Inf	Inf	0	4	Inf	Inf	Inf	Inf
8	Inf	Inf	Inf	Inf	Inf	Inf	4	0	Inf	Inf	21	32
9	Inf	Inf	Inf	12	Inf	Inf	Inf	Inf	0	16	Inf	Inf
10	Inf	Inf	Inf	Inf	20	Inf	Inf	Inf	16	0	8	Inf
11	Inf	Inf	Inf	Inf	Inf	32	Inf	24	Inf	8	0	32
12	Inf	32	Inf	Inf	32	0						

Рис. 2. Матрица весов исходного графа

Соответствующая матрице весов исходная матрица путей $R^0(i, j)$ показана на рис. 3.

Matrix route												
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
1	0	2	3	0	0	0	7	0	0	0	0	0
2	1	0	0	0	5	0	7	0	0	0	0	0
3	1	0	0	4	0	0	0	0	0	0	0	0
4	0	0	3	0	5	0	0	0	9	0	0	0
5	0	2	0	4	0	6	0	0	0	10	0	0
6	0	0	0	0	5	0	0	0	0	0	11	0
7	1	2	0	0	0	0	0	8	0	0	0	0
8	0	0	0	0	0	0	7	0	0	0	11	12
9	0	0	0	4	0	0	0	0	0	10	0	0
10	0	0	0	0	5	0	0	0	9	0	11	0
11	0	0	0	0	0	6	0	8	0	10	0	12
12	0	0	0	0	0	0	0	8	0	0	11	0

Рис. 3. Исходная матрица путей

В каждую ячейку $r^0(i, j)$ матрицы путей записан 0, если для пары вершин v_i, v_j в графе нет ребра, соединяющего данную пару вершин; и значение равно номеру смежной вершины в противном случае:

$$r^0(i, j) = \begin{cases} v_j, v_i v_j \in E \\ 0, v_i v_j \notin E, \text{ или } i = j \end{cases} \quad (2)$$

По ходу вычислений матрица путей $r^k(i, j)$ заполняется номерами промежуточных вершин пути, связывающего две пары вершин.

Алгоритм Флойда включает следующие шаги. На первом шаге исследуют кратчайшие пути проходящие через первую вершину графа. Затем исследуют кратчайшие пути, проходящие через первые две вершины. На каждом проходе добавляют по одному узлу, до тех пор пока не будут исследованы все узлы графа, [2, 3].

Если путь $r^k(i, j)$ – кратчайший путь от вершины v_i к вершине v_j , и проходит через вершины множества $\{v_1, v_2, \dots, v_k\}$, то при добавлении вершины v_{k+1} , кратчайший путь из вершины v_i к вершине v_j может, как проходить через вершину v_{k+1} , так и миновать ее. В общем случае кратчайший путь определен следующим образом:

$$r^k(i, j) = \begin{cases} \omega(i, j), k = 0 \\ \min(r^{k-1}(i, j), r^{k-1}(i, k) + r^{k-1}(k, j)), k \geq 1. \end{cases} \quad (3)$$

В результате вычислений получена матрица весов кратчайших путей и матрица кратчайших путей (рис. 4).

Матрица кратчайших путей позволяет получить информацию о маршруте. Например, в качестве начальной вершины графа выбрана вершина с номером 1, и в качестве конечной (целевой) – вершина 11. В ячейке $W(1, 11)$ матрицы весов записано значение суммарного веса пути равное 64. Для восстановления цепочки ребер полученного пути между вершинами 1 и 11, следует перейти к матрице кратчайших путей. В ячейке $r^k(1, 11)$ записано число 2, это значит, что маршрут 1-11 проходит через вершину 2. Далее в ячейке $r^k(2, 11)$ записано число 5, следовательно номер

следующей промежуточной вершины – 5. Из 5-й вершины, ячейка $r^k(5, 11)$ происходит переход к 10-й вершине, и далее путь идет к 11-й вершине. Таким образом, трасса кратчайшего пути включает номера вершин: 1 – 2 – 5 – 10 – 11.

Первоначальная инициализация матрицы кратчайших путей выполняется по формуле (2). Реализация функции поиска кратчайших путей включает три вложенных цикла, сложность алгоритма Флойда оценивается как $O(N^3)$, где N – число вершин графа. Сложность алгоритма Дейкстры имеет порядок $O(N^2)$. Алгоритм Беллмана – Форда имеет порядок сложности $O(VE)$.

Графы автомобильных и железных дорог более масштабны в сравнении с трассами морских путей, поэтому для поиска кратчайших путей необходимо использовать оптимизированные алгоритмы. Приближенные алгоритмы позволяют найти решение близкое к оптимальному с заданной точностью. Наибольшее быстродействие имеют эвристические алгоритмы, которые позволяют не просматривать все варианты решений для выбора оптимального, а сразу стремятся проложить трассу по кратчайшему пути. При помощи эвристической оценочной функции $Est(V)$, данные алгоритмы позволяют оценивать перспективность нераскрытых вершин пространства состояний и выбирать для продолжения поиска наиболее перспективную вершину [8].

Matrix weight												
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
1	0	12	32	39	36	48	55	59	51	56	64	91
2	12	0	35	27	24	36	45	49	39	44	52	81
3	32	35	0	8	11	23	67	63	20	31	39	71
4	39	27	8	0	3	15	59	55	12	23	31	63
5	36	24	11	3	0	12	56	52	15	20	28	60
6	48	36	23	15	12	0	60	56	27	32	32	64
7	55	45	64	56	53	57	0	4	49	33	25	36
8	59	49	60	52	49	53	4	0	45	29	21	32
9	51	39	20	12	15	27	52	48	0	16	24	56
10	56	44	31	23	20	32	36	32	16	0	8	40
11	64	52	39	31	28	32	28	24	24	8	0	32
12	91	81	71	63	60	64	36	32	56	40	32	0
Route Matrix route												
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
1	0	2	3	2	2	2	7	7	2	2	2	7
2	1	0	5	5	5	5	7	7	5	5	5	7
3	1	4	0	4	4	4	4	4	4	4	4	4
4	5	5	3	0	5	5	5	5	9	5	5	5
5	2	2	4	4	0	6	10	10	4	10	10	10
6	5	5	5	5	5	0	11	11	5	5	11	11
7	1	2	8	8	8	8	0	8	8	8	8	8
8	7	7	11	11	11	11	7	0	11	11	11	12
9	4	4	4	4	4	4	10	10	0	10	10	10
10	5	5	5	5	5	5	11	11	9	0	11	11
11	10	10	10	10	10	6	8	8	10	10	0	12
12	8	8	11	11	11	11	8	8	11	11	11	0

Рис. 4. Кратчайшие пути

Поиск вглубь рассматривается как частный случай эвристического поиска с оценочной функцией $Est(V) = d(V) + index$, а поиск вширь – с оценочной функцией $Est(V) = 1/d(V)$, где $d(V)$ – глубина вершины V . Алгоритм эвристического поиска с хорошо подобранной оценочной функцией находит кратчайший путь быстрее алгоритмов описанных выше.

Разновидностью алгоритма эвристического поиска является A^* -алгоритм. Для допустимости A^* -алгоритма достаточно найти нижнюю грань функции $h^*(V)$ (стоимость оптимального пути из произвольной вершины V в целевую вершину) и использовать ее в качестве эвристической оценки $h(V)$, так что $h(V) \leq h^*(V)$ для всех вершин V пространства состояний, тогда оптимальность найденного алгоритмом решения будет гарантирована [8].

Разработан следующий эмпирический алгоритм. Пусть задана начальная вершина u_0 из которой строится путь в целевую вершину v_k .

К таблице весов добавлен столбец, в котором записаны значения эмпирической функции, равной сумме числа промежуточных вершин (отличных от нуля и значения «Inf») для выбранной строки таблицы и некоторого индекса. Построение пути начинается в обратном порядке от целевой вершины v_k по модифицированной таблице весов к началу – начальной вершине.

Шаг 1. Номер строки j равен номеру целевой вершины k .

Шаг 2. Проверить для строки j чему равно значения для начальной вершины u_0 , т.е. проверить выполнение условия $(w[j, u_0] \neq 0) \text{ AND } (w[j, u_0] \neq \text{Inf})$. Если да, то путь найден. Перейти на шаг 6.

Если нет, то перейти на шаг 3.

Шаг 3. Исключить номера вершин (столбцов) для которых уже просмотрены варианты (в данном случае достаточно исключить просмотр элементов с индексами больше данного в строке j). Перейти на шаг 4.

Шаг 4. Просматриваются по порядку веса $w(j, i)$ в строке j и выбирается элемент $w(j, k_1)$ с наименьшей эмпирической функцией ЭФ (с наименьшим весом). Выполнить переход на шаг 5.

Шаг 5. По номеру столбца k_1 перейти к строке $j=k_1$. Переход к шагу 2.

Шаг 6. Вычислить суммарный вес ребер пути.

Шаг 7. Сравнить полученное значение суммарного веса пути с граничным значением (заданным эмпирически), принять решение: закончить поиск кратчайшего пути или продолжить.

Седьмой шаг алгоритма позволяет найти оптимальное решение, понижая граничное значение до тех пор, пока существует решение.

Результат работы алгоритма показан на рис. 5, в качестве начальной вершины выбрана вершина 1, целевая вершина имеет номер 12, матрица весов «Matrix weight» представляет собой исходную матрицу весов (рис. 1).

matrix weight		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
1	:	0	12	32	Inf	Inf	Inf	55	Inf	Inf	Inf	Inf	Inf
2	:	12	0	Inf	Inf	24	Inf	45	Inf	Inf	Inf	Inf	Inf
3	:	32	Inf	0	8	Inf							
4	:	Inf	Inf	8	0	3	Inf	Inf	Inf	12	Inf	Inf	Inf
5	:	Inf	24	Inf	3	0	12	Inf	Inf	Inf	20	Inf	Inf
6	:	Inf	Inf	Inf	Inf	12	0	Inf	Inf	Inf	Inf	32	Inf
7	:	55	45	Inf	Inf	Inf	Inf	0	4	Inf	Inf	Inf	Inf
8	:	Inf	Inf	Inf	Inf	Inf	Inf	4	0	Inf	Inf	21	32
9	:	Inf	Inf	Inf	12	Inf	Inf	Inf	Inf	0	16	Inf	Inf
10	:	Inf	Inf	Inf	Inf	20	Inf	Inf	Inf	16	0	8	Inf
11	:	Inf	Inf	Inf	Inf	Inf	32	Inf	24	Inf	8	0	32
12	:	Inf	32	Inf	Inf	32	0						
Matrix route													
1	:	7		8		12							
weight													
		91											

Рис. 5. Результат эмпирического поиска

Вес кратчайшего пути из вершины 1 в вершину 12 равен 91, результат совпадает с решением по алгоритму Флойда (рис. 4). Но реализованный эмпирический алгоритм значительно быстрее находит решение, в сравнении с точными алгоритмами, и сложность реализованного алгоритма имеет порядок $O(nm)$, где m – число ребер кратчайшего пути.

Список литературы

1. Маршалл У. Берн. Поиск кратчайших сетей / Маршалл У. Берн, Рональд Л. Грэм // В мире науки. – М.: «Мир», – 1989. – № 3. – С. 64 – 70.
2. Макконнелл, Дж. Анализ алгоритмов. Активный обучающий подход. – 3-е изд. / Дж Макконнелл. – М.: Техносфера, 2013. – 416 с.
3. Потопахин, В. В. Искусство алгоритмизации / В. В. Потопахин. – М.: Пресс, 2011. – 320 с.
4. Кормен, Т. Алгоритмы: построение и анализ / Т. Кормен, Ч. Лейзерсон, Р. Ривест // Пер. с англ. Под ред. А. Шеня – 2-е изд. – М.: МЦНМО, 2002. – 960 с.
5. Большакова, Е. И. Искусственный интеллект. Алгоритмы эвристического поиска / Е. И Большакова, М. Г. Мальковский, В. Н. Пильщиков. – М.: Изд. отдел факультета ВМиК МГУ, 2002. – 83 с.

УДК 621.396.932.1:629.783

Ю. А. Комаровский

НЕОБХОДИМАЯ ПРОДОЛЖИТЕЛЬНОСТЬ ЭКСПЕРИМЕНТОВ ДЛЯ ОЦЕНКИ ТОЧНОСТИ КООРДИНАТ DGPS-ПРИЁМНИКА

Широкое использование морских дифференциальных подсистем СРНС Навстар GPS (DGPS) до сих пор сопровождается отсутствием исчерпывающих сведений о точности обсервованных координат в зонах

их действия. Поэтому требуются обширные теоретические и экспериментальные исследования, направленные на ликвидацию этого пробела в современном судовождении. Цель предлагаемой статьи заключается в оценке необходимой длительности наблюдений для получения надёжных характеристик точности плановых координат судового DGPS-приёмника.

Достижение поставленной цели неразрывно связано с изучением характера сходимости статистических оценок, если определение плановых координат (широты φ и долготы λ) представить в виде случайного процесса. Будем рассматривать процесс, когда в точке с известными координатами φ и λ неподвижно установлена антенна GPS-приёмника, который находится в зоне уверенного приёма корректирующей информации от станции DGPS. Пусть обсервованные плановые координаты через равные промежутки времени непрерывно записываются в память компьютера. Последовательность зафиксированных таким образом координат рассматривается как последовательность случайных величин. Тогда за некоторое время будет накоплена выборка, состоящая из последовательности случайных величин

$$x_1, x_2, \dots, x_n, \dots \quad (1)$$

Пусть случайные величины X_n , являются некоторыми заданными симметрическими функциями от первых n величин последовательности (1),

$$X_n = F_n(x_1, x_2, \dots, x_n).$$

Если есть такая последовательность констант

$$a_1, a_2, \dots, a_n, \dots,$$

что при любом сколь угодно малом $\varepsilon > 0$

$$\lim_{n \rightarrow \infty} P\{|X_n - a_n| < \varepsilon\} = 1, \quad (2)$$

то последовательность (1) подчиняется закону больших чисел с заданными функциями X_n . Обычно функции X_n воспринимаются как средние арифметические величин x_1, x_2, \dots, x_n . Поэтому выражение (2) интерпретируется следующим образом: при числе наблюдений, стремящимся к бесконечности, событие $|X_n - a_n| < \varepsilon$, становится практически достоверным, если ε – наперёд заданная малая положительная величина.

Будем считать, что X_n есть среднее арифметическое величин $x_1, x_2, \dots, x_n, \dots$. Если в соотношении (2) все величины a_n равны одной и той же величине a , то считается, что случайные величины X_n сходятся по вероятности к a . В этих понятиях соотношение (2) означает, что $X_n - a_n$ сходится по вероятности к нулю.

В нашем случае рассматривается ситуация, когда фиксируются координаты неподвижного приёмника системы Навстар GPS, установленного на пункте, истинная широта (долгота) которого есть a . Среднее арифметическое для широт запишется как

$$\frac{1}{N} \sum_{i=1}^N \varphi_i,$$

где N – общее число наблюдений в выборке, φ_i – i -тое значение широты.

Тогда с позиции закона больших чисел в записи (2) среднее арифметическое широты будет по вероятности сходиться к истинному значению широты пункта, в котором установлена антенна,

$$\lim_{n \rightarrow \infty} P \left\{ \left| \frac{1}{N} \sum_{i=1}^N \varphi_i - a \right| < \varepsilon \right\} = 1. \quad (3)$$

Несмотря на очевидность идеи, заложенной в законе больших чисел в форме (2), строгое её доказательство для любых случайных величин до сих пор представляет математическую сложность. Классические доказательства теорем закона больших чисел, сделанные П. Л. Чебышевым и А. А. Марковым, предполагают, что случайные величины независимы.

В работах [1,2] показано присутствие систематических погрешностей в показаниях координат приёмника системы Навстар GPS. Это свидетельствует о присутствии зависимости в регистрируемых координат неподвижного приёмника. Поэтому осреднение координат неподвижного приёмника формально не может обеспечить сходимость к истинной широте и долготе.

В семидесятые годы минувшего столетия математики исследовали проблемы сходимости, определяя условия, которые следует наложить на зависимые величины, чтобы для них выполнялся закон больших чисел. В работе [3] изложено доказательство версии теоремы А. А. Маркова при таких необходимых и достаточных условиях, при которых применим закон больших чисел для последовательности случайных величин с произвольной зависимостью.

Для того чтобы для последовательности x_1, x_2, \dots, x_n , как угодно зависимых случайных величин при любом положительном ε выполнялось соотношение

$$\lim_{n \rightarrow \infty} P \left\{ \left| \frac{1}{n} \sum_{k=1}^n x_k - \frac{1}{n} \sum_{k=1}^n \mathbf{M}(x_k) \right| < \varepsilon \right\} = 1. \quad (4)$$

необходимо и достаточно, чтобы при $n \rightarrow \infty$

$$\mathbf{M} \left(\frac{\left| \sum_{k=1}^n \{x_k - \mathbf{M}(x_k)\} \right|^2}{n^2 + \left| \sum_{k=1}^n \{x_k - \mathbf{M}(x_k)\} \right|^2} \right) \rightarrow 0. \quad (5)$$

В выражениях (4) и (5) \mathbf{M} означает оператор математического ожидания случайной величины.

Выражение (4) более приемлемо для обоснования сходимости координат. По сравнению с (2) в выражении (4)

$$\frac{1}{n} \sum_{k=1}^n M(x_k)$$

является приближением к a . Поскольку здесь рассматривается ситуация зависимых усредняемых величин, то разность Δ

$$\Delta = a - \frac{1}{n} \sum_{k=1}^n M(x_k),$$

представляет собой поправку к координатам. Причём из этого вовсе не следует, что при $n \rightarrow \infty$ разность $\Delta \rightarrow 0$. Если приёмник системы Навстар GPS имеет инструментальные погрешности определения широты, долготы и возвышения антенны, то, как бы ни увеличивалось число наблюдений, разность Δ никогда не будет равна нулю. Главное, что заключено в подходе (4) – это обоснование обязательной сходимости к средней величине, полученной за очень большое число наблюдений, даже при влиянии систематической погрешности.

Из выражения (4) следуют три важных вывода. Во-первых, чтобы координаты неподвижного приёмника сходились к истинным координатам пункта, необходимо знать инструментальные погрешности приёмника. Во-вторых, чтобы сократить число наблюдений, необходимо знать закон изменения систематических погрешностей с самыми большими периодами (лунные, сезонные, годовые и т. д.). В-третьих, в ходе исследований сходимости усредняемых координат можно получить величину ε , которая будет характеристикой абсолютной точности, с которой определяются истинные координаты пункта.

Чтобы изучить особенности сходимости оценок точности, воспользуемся результатами экспериментальных наблюдений, выполненных автором в районе мыса Поворотного (залив Находка Японского моря) на расстоянии 2,48 мили от дифференциальной станции. Экспериментальные наблюдения проводились с 9 октября по 20 октября 2012 года с кратковременными перерывами из-за прекращения подачи электроэнергии. Судовой приёмник GP-37, изготовленный компанией Furuno, во время наблюдений находился в неподвижном состоянии и работал в режиме автоматического приёма дифференциальных поправок на несущей частоте 306,5 кГц с темпом передачи информации 200 BPS. Мощность принимаемого сигнала колебалась возле величины 55 dB. Отношение сигнала к шуму (SNR) составляло 22 dB. Данные от приёмника GP-37 каждую секунду записывались в стандарте NMEA 0183 на жёсткий диск ноутбука.

Точность работы приёмника GP-37 в режиме приёма дифференциальных поправок оценивалась с помощью среднего широты и долготы, а также с помощью среднего квадратического отклонения (СКО) широты и долготы по формулам (6),

$$\varphi_{\text{CP}} = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n \varphi_i, \quad \sigma_{\varphi} = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (\varphi_i - \varphi_{\text{CP}})^2}{n}}, \quad (6)$$

где φ_{CP} – средняя широта, угловые минуты; σ_{φ} – среднее квадратическое отклонение широты, угловые минуты. n – число зафиксированных широт с начала наблюдений.

Средняя долгота и СКО долготы в угловых минутах вычислялись также по формуле (6). Чтобы проследить динамику сходимости оценок они вычислялись по мере увеличения времени с момента начала непрерывных экспериментальных наблюдений. При этом первые вычисления производились для $n = 300$, что соответствовало первым 5 минутам наблюдений. Вторые вычисления выполнялись уже для $n = 600$ (10 минут с начала наблюдений). Третьи – для $n = 900$ (15 минут с начала наблюдений) и т. д. С шагом в 5 минут увеличивалась выборка в интервале наблюдений с 0 часов UTC 11 октября до 24 часов UTC 16 октября. В других сутках имели место перерывы в сборе наблюдений, поэтому они были исключены из обработки.

Динамику сходимости точечных оценок точности за 144 часа непрерывных наблюдений с 0 часов UTC 11 октября можно наблюдать на рис. 1-4. На рис. 1 и 2 для удобства анализа вместо сходимости средних широт и долгот в угловой мере представлены графики сходимости разностей Δ_{φ} и Δ_{λ} в метрах,

$$\Delta_{\varphi} = (\varphi_i - \varphi_{\min}) \Gamma l_m, \quad \Delta_{\lambda} = (\lambda_i - \lambda_{\min}) \Gamma l_p,$$

где φ_{\min} и λ_{\min} – минимальные значения вычисляемых по формулам (6) средних широт и долгот соответственно, угловые минуты; l_m и l_p – длина дуги одной минуты меридиана и параллели в метрах соответственно.

Величины l_m и l_p для референц-эллипсоида WGS-84 вычислялись по формулам, полученным в работе [4]. В месте проведения экспериментальных наблюдений $l_m = 1851,4452$ м; $l_p = 1365,7927$ м.



Рис. 1. Сходимость средней широты



Рис. 2. Сходимость средней долготы

Как можно видеть на рис. 1, усредняемая широта в течение первых суток имеет слишком высокую вариабельность. Наблюдается ярко выраженный суточный ход, при котором максимальные величины средних широт приходится на конец и начало суток по шкале времени UTC. В дальнейшем амплитуда суточной составляющей уменьшается. Опуская поведение усредняемой широты за первые сутки, следует констатировать монотонное уменьшение разности широт, что интерпретируется как систематическое смещение обсервованной широты к югу. С начала вторых суток наблюдений и до конца 16-го октября усредняемая широта отклонилась к югу на 0,17 м. При этом признаков окончания сходимости не наблюдается. Следовательно, руководствуясь (4) и (5), можно сделать вывод о том, что при $\varepsilon = 0,01$ м непрерывных наблюдений в течение шести суток будет недостаточно для получения достоверной точечной оценки средней широты неподвижного приёмника, работающего в непосредственной близости от DGPS-станции.

Характер изменения усредняемой долготы схож с изменением усредняемой широты. Главное отличие заключается в том, что приблизительно со 125 часа наблюдений (через 5,2 суток) имеет место $\varepsilon < 0,01$ м. Следовательно, достоверная оценка средней долготы может быть достигнута после обработки накопленных в течение 125 часов непрерывных данных. На графике рис. 2 также видна монотонно уменьшающаяся средняя долгота. То есть, усредняемая обсервованная долгота во время наблюдений смещалась к востоку. С начала вторых суток наблюдений это смещение составило 0,07 м. Как и у широты на графике усредняемой долготы наблюдается присутствие суточной составляющей. Благодаря меньшей дисперсии, можно разглядеть незначительный всплеск усредняемой долготы, приходящийся на каждый полдень наблюдений. Это явление требует отдельного исследования.

На рис. 3 и 4 представлены графики сходимости СКО широты и СКО долготы в метрах за те же 144 часа. Для этого СКО в угловых минутах, рассчитанные по формулам (6), умножались на l_m и l_p соответственно.



Рис. 3. Сходимость среднего квадратического отклонения широты



Рис. 4. Сходимость среднего квадратического отклонения долготы

Как СКО широты, так и СКО долготы на рис. 3 и 4 имеют общую тенденцию к возрастанию. К концу 16 октября СКО широты составило 0,825 м, а СКО долготы – 0,643 м. Величины СКО, полученные по данным за всё время экспериментальных наблюдений в октябре 2012 года, были 0,875 м и 0,664 м соответственно [5]. Таким образом, увеличение продолжительности экспериментов сопровождается ухудшением оцениваемой точности определения обсервованных координат вблизи DGPS-станции. Причиной тому служит присутствие непостоянной систематической погрешности, вызывающей рост числителя подкоренного выражения в формуле (6). Следовательно, попытка получить достоверные оценки точности определения координат в зоне действия DGPS-станции должна сопровождаться компенсацией систематической погрешности.

На рис. 3 видно, что признаки сходимости проявляются у СКО широты уже после вторых суток наблюдений. У СКО долготы сходимость наступает приблизительно на сутки ранее. Уместно напомнить о наблюдениях, предпринятых автором во Владивостоке летом 2011 года. Там сходимость СКО координат начинала проявляться только после истечения третьих суток [6]. Поэтому можно допустить прямую зависимость необходимой продолжительности наблюдений от расстояния до DGPS-станции.

Подводя итог, надо остановиться на факте того, что дифференциальные поправки, транслируемые морскими DGPS-станциями, к сожалению, не устраняют суточные и сезонные колебания точности определения об-

сервованных координат.

Список литературы

1. Комаровский, Ю. А. Исследование модели погрешностей определения места судна приёмником СРНС Навстар GPS / Ю. А. Комаровский // Транспортное дело России. – 2004. – Спецвыпуск № 2. – С. 15-19.
2. Комаровский, Ю. А. Сезонные изменения точности координат дифференциального режима работы GPS-приёмника на морском шельфе / Ю. А. Комаровский // Гидротехника, № 4, 2014. – С. 111-113.
3. Гнеденко, Б. В. Курс теории вероятностей. Изд. пятое, стереотипное / Б. В. Гнеденко / М.: Наука, 1969. – 400 с.
4. Комаровский, Ю. А. Точные вычисления пройденных расстояний на земных эллипсоидах / Ю. А. Комаровский // Современные проблемы развития и методики преподавания естественных и точных наук. Материалы Всероссийской научн.-практ. конф. 16-18 декабря 2009 года. – Уссурийск: Изд-во УГПИ, 2009. – С. 154-161.
5. Кац, В. А., Комаровский, Ю. А. Форма фигуры погрешностей координат судна вблизи морской DGPS-станции / В. А. Кац, Ю. А. Комаровский // Научные проблемы транспорта Сибири и Дальнего Востока, № 3, Новосибирск, 2014. – С. 105-110.
6. Комаровский, Ю. А. Сходимость координат приёмника GP-37 в дифференциальном режиме / Ю. А. Комаровский // Проблемы транспорта Дальнего Востока. Пленарные доклады девятой международной научн.-практ. конференции (FEBRAT-11). 5-7 октября 2011 г. – Владивосток: ДВО Российской Академии транспорта, 2011. – С. 112-115.

УДК 621.396.932.1:629.783

Ю. А. Комаровский

СВОЙСТВА МОДУЛЯ ВЕКТОРА АБСОЛЮТНОЙ СКОРОСТИ НЕПОДВИЖНОГО СУДНА ВБЛИЗИ DGPS-СТАНЦИИ

Недостаточно изученным аспектом эксплуатации приёмников спутниковой радионавигационной системы (СРНС) Навстар GPS до настоящего времени выступает проблема точного измерения с их помощью скорости в диапазоне от 0 до 0,1 узла (0,05 м/с). В этом диапазоне одинаково плохо измеряют параметры вектора абсолютной скорости как судовые GPS-приёмники, так и GPS-приёмники геодезического назначения. Разработка новых GPS-технологий и на их базе технических систем нуждаются в исчерпывающей информации о точности измерения скорости, близкой к 0 узлов. К числу таких перспективных изделий надо отнести системы точного учёта пройденного расстояния, противоугонные устройства, системы мониторинга разливов нефти, перемещения морского мусора и упавших за борт контейнеров, представляющих в последние годы реальную угрозу судоходству. Разведка и освоение месторождений углеводородов на арктическом шельфе России также связана с необходимостью непрерывного сопровождения протяжённых ледяных полей и айсбергов вблизи морских платформ.

Ранее автором уже изучалось влияние различных факторов на точность измерения вектора абсолютной скорости малоподвижного и неподвижного носителей GPS-приёмника [1-3]. Предлагаемая статья ставит целью изучение точности измерения скорости неподвижного приёмника, принимающего дифференциальные поправки расположенной рядом DGPS-станции.

Как и любой другой измерительный прибор, судовой GPS-приёмник неизбежно содержит погрешности в своих отсчётах скорости. Если GPS-приёмник движется вместе со своим носителем с постоянной скоростью и направлением, то всегда можно видеть, как флуктуируют его показания. Флуктуации происходят даже при неподвижной антенне приёмника. Поэтому будем считать, что показания скорости всегда содержат случайные погрешности, которые никогда не могут сделать отсчёт скорости отрицательным. Считается, что точность измерения скорости значительно увеличивается, когда происходит приём дифференциальных поправок. Так как точность работы приёмника растёт по мере приближения к дифференциальной станции, то можно предположить, что рядом с ней неподвижный DGPS-приёмник будет всегда отображать на экране и транслировать на внешние устройства скорость, равную 0 узлов.

Чтобы принять эту гипотезу или её опровергнуть, воспользуемся данными экспериментальных наблюдений, выполненных автором в октябре 2012 года. Во время экспериментов судовой DGPS-приёмник GP-37 был неподвижно установлен на берегу Японского моря на расстоянии 2,48 мили от передатчика дифференциальной станции мыса Поворотного. Приёмник получал дифференциальные поправки в автоматическом режиме. Каждую секунду на жёсткий диск подключённому к приёмнику ноутбука заносились отсчёты времени по шкале UTC, геодезические координаты, признаки достоверности получаемых данных, модуль вектора абсолютной скорости – SOG (Speed over Ground), направление вектора абсолютной скорости – COG (Course over Ground) и другие данные.

На предварительном этапе обработки данных выяснилось, что за время экспериментальных наблюдений с 9 октября по 20 октября дифференциальная станция мыса Поворотного трижды прекращала трансляцию дифференциальных поправок. Первый раз перерыв в трансляции длился 1377 с, второй – 539 с и третий – 3609 с. Суммарная продолжительность отсутствия в эфире дифференциальных поправок составила 1,5 часа. Поэтому дальнейший анализ размаха варьирования касался только тех величин SOG, которые рассчитывались приёмником GP-37 с участием дифференциальных поправок.

Вопреки выдвинутым предположениям модуль вектора абсолютной скорости неподвижного приёмника принимал значения от 0 узлов до 0,3 узла. Так как приёмник был неподвижен, то значения SOG больше 0 узлов считались погрешностями. О вероятностях появления значений SOG из этого диапазона можно судить по данным таблицы 1.

Таблица 1.

Эмпирическая плотность распределения значений SOG неподвижного DGPS-приёмника GP-37 в наблюдениях 2012 года

SOГ, узлы	Частота	Относительная частота
0	800643	0,8591023
0,1	131067	0,1406369
0,2	234	0,0002510
0,3	9	0,0000097
Всего	931953	

Из таблицы 1 следует, что на долю погрешностей в отсчётах SOG приходится 14% всего массива данных. Этот факт не позволяет сделать уверенный вывод об эффективности применения дифференциальных поправок для повышения точности измерения абсолютной скорости судовыми DGPS-приёмниками даже на малых расстояниях от DGPS-станции. События, когда регистрировались значения SOG 0,2 узла и 0,3 узла, возникали крайне редко. На их долю пришлось около 0,026% исследуемых данных.

Обнаруженный высокий уровень погрешностей служит поводом для исследования причин их возникновения. С этой целью был принят анализ суточного хода среднего за один и тот же час количества погрешностей, зарегистрированных за всё время наблюдений.

Так как в подавляющем числе фиксаций SOG принимала значения 0 или 0,1 узла, то число погрешностей за j -й час ($j = 1, 2, 3, \dots, 24$) k -х суток наблюдений ($k = 1, 2, 3, \dots, 11$) может быть рассчитано как

$$n_{jk} = 10^{\frac{3600}{i}} \sum_{i=1} v_{ijk}.$$

Если просуммировать по всем k количество погрешностей в j -х часах суток и отнормировать результат, то получим среднее по всем суткам экспериментальных наблюдений n_{CPj} для данного j -го часа,

$$n_{CPj} = \frac{1}{11} \sum_{k=1}^{11} n_{jk}.$$

График изменения этой величины представлен на рис. 1.

На графике рис. 1 можно видеть повторяющиеся во всех сутках наблюдений два максимума числа погрешностей, приходящиеся на 5-й час UTC (с 14 часов 00 минут до 14 часов 59 минут 59 секунд времени во Владивостоке) и на 17-й час UTC (с 2 часов 00 минут до 2 часов 59 минут 59 секунд времени во Владивостоке). Иными словами, максимальное количество погрешностей SOG повторяются приблизительно через 12 часов. Так как время наступления максимумов не совпадает со временем наступления утренних и вечерних солнечных терминаторов,

то увеличение числа погрешностей можно объяснить формированием в это время неблагоприятной геометрии расположения спутников относительно места приёмника GP-37.

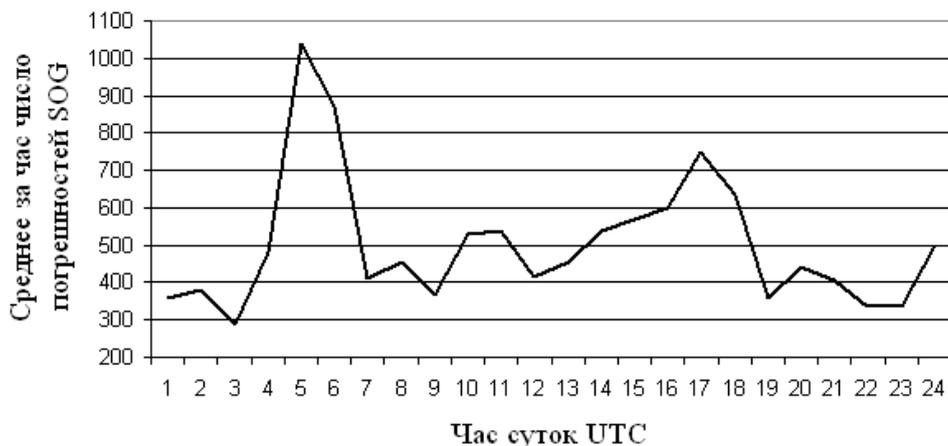


Рис. 1. Суточное изменение среднего за час числа погрешностей SOG

Чтобы пролить свет на причины обнаруженного явления, были рассчитаны величины среднего за каждый час числа погрешностей SOG по каждому суткам наблюдений,

$$n_{\text{СР}jk} = \frac{10}{N} \sum_{i=1}^N v_{ijk}, \text{ где } N = 3600.$$

Графики этих средних величин можно видеть на рис. 2. Для удобства сравнительного анализа графики синхронизированы. На рис. 2 нижний график представляет суточный ход среднего числа погрешностей за 9 октября, а верхний график – за 19 октября.

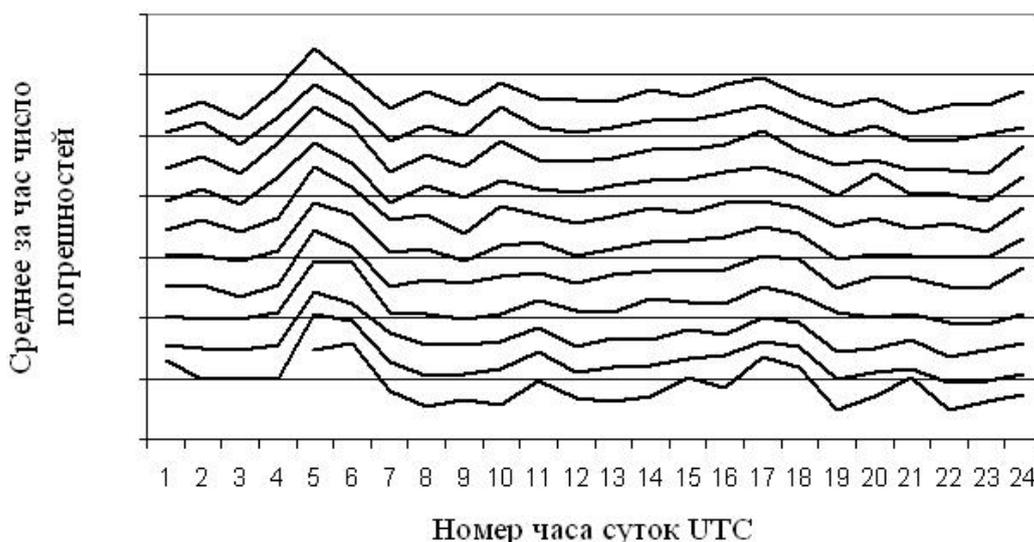


Рис. 2. Графики среднего за час числа погрешностей SOG для всех суток

Сравнение графиков рис. 2 позволяют сделать следующие выводы:

ды. Суточный ход среднего за час числа погрешностей SOG во всех сутках сравнительно одинаков. В пятом часу во всех сутках наблюдается экстремальное значение среднего числа погрешностей. Следующие всплески приходятся на 11-й и на 17-й часы суток. На рис. 1 11-часовой всплеск погрешностей не так заметен из-за того, что, как это видно на рис. 2, происходит дрейф максимума в сторону 10-го часа. Такое же явление происходит и со значением средней погрешности, приходящейся на шестой час суток. Видно, как оно исчезает по мере увеличения номера суток. Описанные явления могут происходить, прежде всего, из-за детерминированных от суток к суткам изменений взаимного расположения спутников системы Навстар GPS.

На заключительном этапе анализа необходимо рассмотреть характер изменчивости погрешностей SOG от суток к суткам. Для чего воспользуемся среднесуточным числом погрешностей измерения SOG n_{CPk} ,

$$n_{CPk} = \frac{10}{24} \prod_{j=1}^{24} \prod_{i=1}^{3600} v_{ijk}.$$

График изменения среднесуточного числа погрешностей SOG изображён на рис. 4. Прослеживается явная тенденция повышения точности измерения приёмником GP-37 модуля вектора абсолютной скорости неподвижного судна вследствие уменьшения на 22% среднесуточного числа погрешностей.

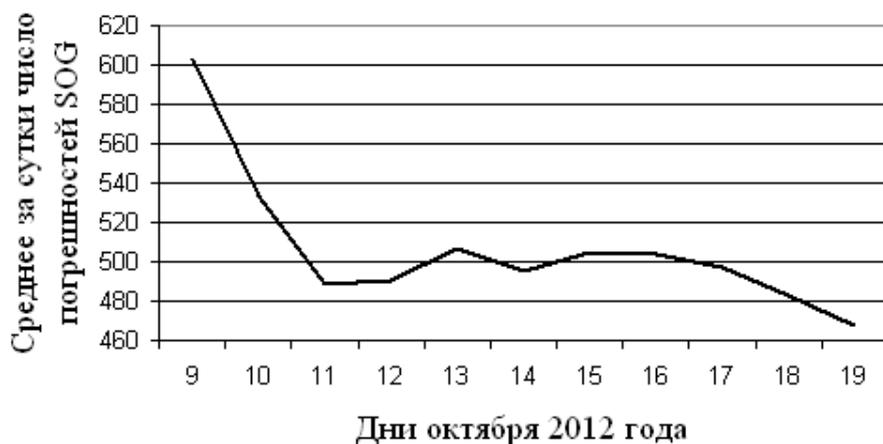


Рис. 4. Изменение среднесуточного числа погрешностей SOG

Причинами тенденций, представленных на графиках рис. 3 и 4, могут быть процессы, протекавшие в те дни в ионосфере и магнитосфере, а также суточная неравномерность горизонтального геометрического фактора – HDOP (Horizontal Dilution of Precision). Анализ сведений, предоставляемых отечественными и зарубежными обсерваториями, осуществляющими мониторинг состояния солнечно-земных связей, не выявил зафиксированных в этот период времени возмущений в ионо-

сфере и в магнитосфере Земли. Поэтому в дальнейшем изучению подлежали значения HDOP.

Величины HDOP вычислялись приёмником GP-37 и транслировались на жёсткий диск ноутбука каждую секунду. В практике эксплуатации судовых GPS-приёмников горизонтальный геометрический фактор (ГГФ) служит косвенной оценкой точности определения координат. Малые значения ГГФ сопровождаются явлениями, когда азимуты спутников пересекаются под благоприятными углами и поэтому соответствуют высокой точности определения координат. Пересечение азимутов под малыми углами соответствует низкой точности координат судна [4]. В предлагаемой статье подразумевается, что точность измерения SOG имеет такую же зависимость от HDOP, что и точность определения координат. Диапазон изменения величин HDOP и относительные частоты их фиксаций в ходе экспериментальных наблюдений помещены в таблицу 2.

Таблица 2.

Распределение HDOP приёмника GP-37 в наблюдениях 2012 года

Величина HDOP	Относительная частота	Величина HDOP	Относительная частота
0,2	0,152832	0,7	0,000907
0,3	0,593734	0,8	0,001255
0,4	0,205670	0,9	0,001481
0,5	0,037991	1,0	0,000014
0,6	0,006116		

В таблице 2 видно, что на долю первых трёх значений HDOP приходится 95% всех наблюдений. Причём величина 0,3 фиксировалась в три раза чаще, нежели величины 0,2 и 0,4.

График среднесуточных значений HDOP представлен на рис. 5.



Рис. 5. Изменение среднесуточной величины HDOP

Сравнение графиков рис. 4 и 5, на которых прослеживается одинаковая тенденция уменьшения величин средних за сутки SOG и HDOP с 9 октября по 19 октября, позволяет сделать вывод о существовании стохастической зависимости точности измерения модуля абсолютной скорости от геометрии расположения спутников системы Навстар GPS относительно судна. Чтобы оценить вид и тесноту этой зависимости, были вычислены средние за каждый час значения HDOP для всех суток. Затем строилось корреляционное поле, где по оси абсцисс откладывались величины средних за каждый час HDOP, а по оси ординат – соответствующие им полученные ранее средние за каждый час величины SOG. Полученный вид корреляционного поля можно видеть на рис. 6.

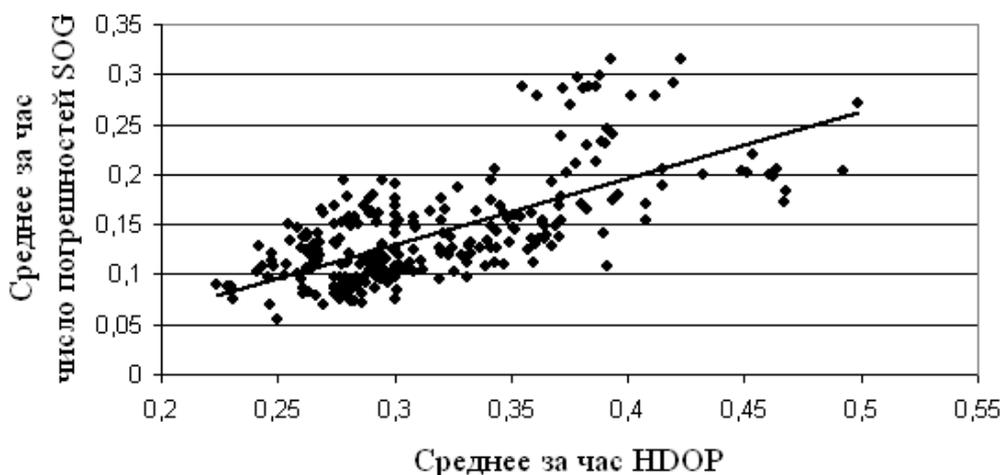


Рис. 6. Зависимость числа погрешностей SOG от HDOP

Вид корреляционного поля рис. 6 можно интерпретировать как проявление положительной связи между исследуемыми величинами. Видно как с ростом среднего HDOP увеличиваются погрешности измерения SOG. В первом приближении эту зависимость можно принять линейной. Поэтому для оценки тесноты стохастической зависимости воспользуемся линейным коэффициентом корреляции r [5],

$$r = \frac{K_{hs}}{\sigma_h \sigma_s},$$

где K_{hs} – корреляционный момент случайных величин средних HDOP (h) и SOG (s),

$$K_{hs} = \int_0^{\Gamma} (h - m_h) f_1(h) dh \int_0^{\Gamma} (s - m_s) f_1(s) ds,$$

где m_h и m_s – точечные оценки математических ожиданий случайных величин h и s соответственно, $f_1(h)$ и $f_1(s)$ – плотности распределения вероятностей случайных величин h и s соответственно, σ_h и σ_s – точеч-

ные оценки средних квадратических отклонений случайных величин h и s соответственно.

В результате вычислений коэффициент корреляции r оказался равным 0,679. Эта величина заметно превосходит 0,5. Поэтому нельзя брать под сомнение гипотезу о существовании корреляционной зависимости точности измерения абсолютной скорости от геометрии расположения спутников.

На завершающем этапе исследований были рассчитаны коэффициенты линейной регрессии вида $y = ax + b$. На рис. 6 она изображена в виде прямой линии. С учётом полученных коэффициентов регрессионная зависимость погрешности скорости неподвижного судна от величины горизонтального геометрического фактора получила следующий вид:

$$\text{SOG} \approx \frac{0,662 \cdot \text{HDOP} - 0,068}{10},$$

где SOG в узлах.

В заключение надо остановиться на следующих основных выводах.

1. Близкое расположение к дифференциальной станции полностью не устраняет погрешности измерения DGPS-приёмником модуля вектора абсолютной скорости судна.

2. Несмотря на уверенный приём дифференциальных поправок, погрешности измерения модуля вектора абсолютной скорости продолжают существенно зависеть от геометрии расположения спутников.

Список литературы

1. Комаровский, Ю. А. Погрешность измерения скорости неподвижным приёмником GP-37 / Ю. А. Комаровский // Материалы междунар. научн.-практ. конф. «Морская экология» («MAREC–2005»). 5–7 окт. 2005 г. Том II. – Владивосток: МГУ им. адм. Г. И. Невельского, 2006. – С. 56 – 66.

2. Комаровский, Ю. А. Влияние времени года на характер изменения скорости неподвижного приёмника GP-37 / Ю. А. Комаровский // Вестник Морского государственного университета. Вып. 18. Серия: Теория и практика защиты моря. – Владивосток: Мор. гос. ун-т, 2007. – С. 74 – 81.

3. Комаровский, Ю. А. Диагностика остановки носителя GPS-приёмника компании Furuno / Ю. А. Комаровский // Вестник Морского государственного университета. Вып. 43/2010. Серия : Автоматическое управление, математическое моделирование и информационные технологии. – Владивосток : Мор. гос. ун-т, 2010. – С. 94 – 99.

4. Комаровский, Ю. А. Исследование свойств горизонтального геометрического фактора / Ю. А. Комаровский // Транспортное дело России. Специальный выпуск № 2, Москва, 2004. – С. 5 – 9.

5. Вентцель, Е. С. Теория вероятностей / Е. С. Вентцель / М.: Государственное издательство физико-математической литературы, 1962. – 564 с.

АНАЛИТИЧЕСКОЕ ОПИСАНИЕ ГРАНИЦЫ СВОБОДНОЙ ОТ ПРОЛЁТОВ СПУТНИКОВ ОБЛАСТИ НАД СЕВЕРНЫМ МОРСКИМ ПУТЁМ

Рост активности в обширном регионе российской Арктики вызван не только увеличением грузоперевозок в этом транспортном коридоре. В последние годы на шельфе арктических морей разведали большие запасы углеводородов и приступили к их освоению. Всё чаще выполняются операции по буксировке и позиционированию морских буровых и добывающих платформ. С этим связано увеличение присутствия судов снабжения, спасательных судов и ледоколов, а также значительное увеличение числа полётов авиации. Поэтому становятся актуальными проблемы безопасности человеческой деятельности и сохранения природы на арктическом севере России. Успех в решении данных проблем достижим только с помощью надёжных радиотехнических средств навигационного оборудования рассматриваемого региона и развернутых в нём средств радиосвязи.

Из-за экономических затруднений последних десятилетий в нашей стране радионавигационные средства, обеспечивающие точное определение координат в Арктике, не развивались. Созданные в середине и в конце прошлого века средства морально устарели, а многие из них выработали полностью свой ресурс. Поэтому сейчас в морской и в воздушной навигации в арктическом регионе России главным образом используются спутниковые радионавигационные системы (СРНС) Глонасс и Навстар GPS. Каждая из этих СРНС с точки зрения потребителя имеет свои достоинства и недостатки. В большинстве своём их причины кроются в закономерностях движения навигационных искусственных спутников Земли (ИСЗ) относительно приёмника потребителя.

В работах [1-4] показано, что на небесной сфере потребителей СРНС обязательно будут такие области, где отсутствуют ИСЗ Глонасс и Навстар GPS. В связи с этим возникает интерес к тому, как перемещаются навигационные ИСЗ относительно наблюдателя, который находится в какой-либо точке Северного морского пути (СМП). Используя хорошо зарекомендовавшего себя в предыдущих исследованиях программного продукта, были вычислены высоты и азимуты спутников созвездия СРНС Навстар GPS для наблюдателя в точке с координатами 75° северной широты и 63° восточной долготы. Высоты и азимуты всех радиовидимых спутников вычислялись через каждые 3 минуты, начиная с 0 часов 12 декабря и до 24 часов 12 декабря 2014 года по шкале времени UTC. В течение суток 12 декабря созвездие СРНС Навстар GPS состояло из 31 действующих спутников. Не транслировал навигационные сигналы только спутник PRN08. По полученным данным далее строились траектории пролёта каждого спутни-

ка по небесной сфере относительно наблюдателя. Распределение полученных траекторий можно видеть на рис. 1.

На рис. 1 внешняя окружность соответствует появлению ИСЗ на горизонте. Средняя и внутренняя окружности соответствуют высотам спутников над горизонтом 30° и 60° соответственно. Центром этих окружностей является зенит наблюдателя. На рисунке видно, что вблизи зенита наблюдателя траектории спутников отсутствуют. Центр области, свободной от пролётов спутников (ОСП), смещён от зенита в сторону севера. В направлении на север спутников меньше, нежели в направлении на юг. Для наблюдателя, совершающего плавание по СМП, спутники СРНС Навстар GPS не поднимаются выше 65° .

Отсутствие спутников вблизи зенита ухудшает точность определения возвышения антенны приёмника СРНС Навстар GPS над земной поверхностью, что снижает эффективность применения системы в авиации. С этой точки зрения использование отечественной СРНС Глонасс предпочтительнее, поскольку углы наклонов плоскостей орбит её спутников на 10° больше по сравнению с СРНС Навстар GPS. С другой стороны, так как на акватории СМП высоты спутников Навстар GPS над горизонтом составляют приблизительно 65° , то это должно способствовать повышению точности определения широты и долготы судовыми приёмниками.

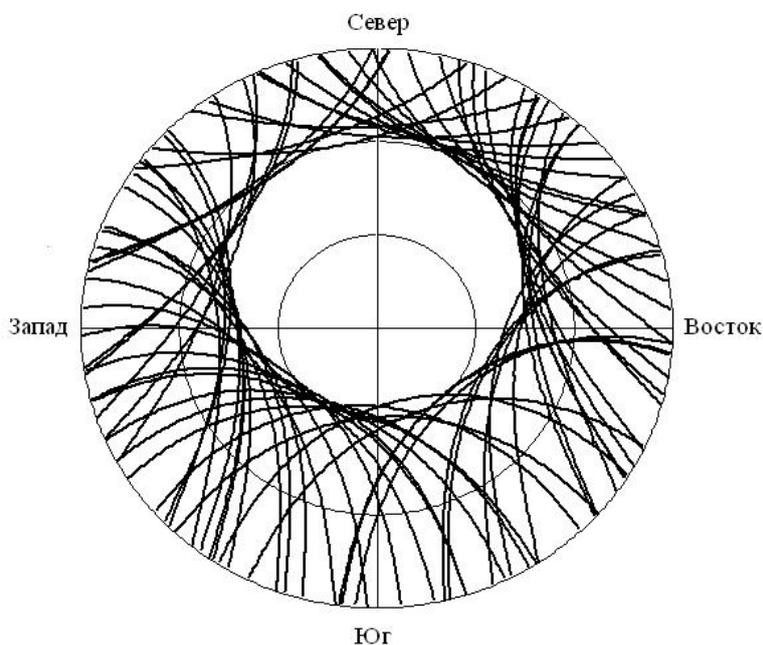


Рис. 1. Траектории пролётов ИСЗ Навстар GPS над Северным Морским Путём

Вполне естественным будет вопрос о размере площади области неба, в которой отсутствуют навигационные ИСЗ. Чтобы вычислить с достаточной точностью площадь ОСП, необходимо иметь аналитическое выражение, описывающее её границы. Искомые границы, как это следует из рис. 1, формируют траектории спутников относительно наблюдателя. На рис. 2 показаны типичные для плавания по СМП траектории спутника PRN01 систе-

мы Навстар GPS в течение полных суток UTC 12 декабря 2014 года.



Рис. 2. Изменение высоты ИСЗ PRN01 Навстар GPS 12 декабря 2014 года

На рис. 2 можно видеть, что за одни сутки зарегистрированы три пролёта. Причём первый из них, длившийся с 0 часов до 1 часа 06 минут, представляет собой завершение второго витка предыдущих суток. Графики изменения высот имеют два максимума (кульминации), отстоящие друг от друга на 11 часов 12 минут. Видно, что высоты кульминаций не равны и отличаются на $7,9^\circ$. Равенство максимальных высот следует ожидать только для наблюдателя на полюсе.

Введём функцию $f(A)$, связывающую текущую высоту спутника над горизонтом h с соответствующим ей азимутом A , $h = f(A)$. Графики этих функций можно видеть на рис. 3, на котором представлены траектории пролётов того же спутника PRN01 в течение 12 декабря 2014 г.

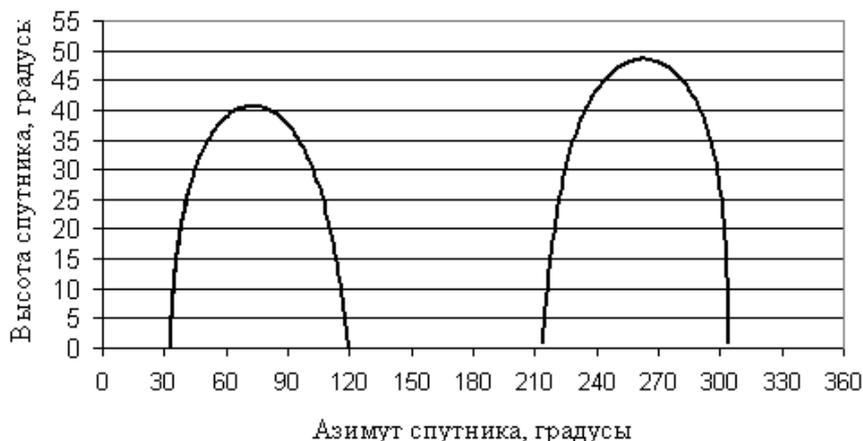


Рис. 3. Изменение высоты ИСЗ PRN01 в зависимости от азимута

Анализ графиков рис. 3 даёт основание сделать вывод о несимметричности функций $h = f(A)$. Судя по графикам, функции $h = f(A)$ являются гладкими нелинейными функциями. Видно, что восточная траектория имеет более пологое правое крыло, а западная траектория – левое крыло. Точки кульминации отстоят друг от друга на $190,7^\circ$. Считалось, что они будут отстоять ровно на 180° . Следовательно, видимое движение ИСЗ СРНС На-

встар GPS относительно наблюдателя будет описываться довольно сложным математическим выражением, включающим математические модели небесной механики и параметры орбит спутников.

Для составления математического выражения границы ОСП обратимся к рис. 4.

На рис. 4 показаны траектории спутников, пересекающиеся в точках a, b, c . Зенитные расстояния этих точек (расстояния до точки зенита Z) минимальны по сравнению с другими точками пересечения в одном и том же направлении. Смежными траекториями будем считать те, которые имеют точку пересечения, ближайшую к зениту. Таким образом, границу ОСП будут формировать смежные участки ab, bc, cd, \dots . Они образуют замкнутую линию сложной формы, состоящую из смежных участков траекторий, обращённых выпуклостями в направлении зенита. Понятно, что не всегда ближайшей к зениту точкой каждого такого участка будет высота кульминации h_k спутника на данном витке.

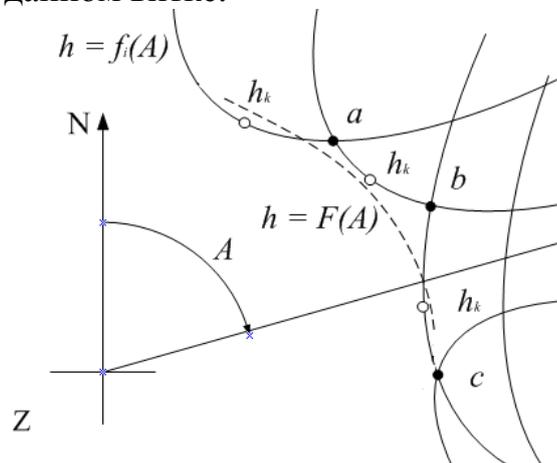


Рис. 4. Определение границы ОСП

Чтобы найти координаты точек пересечения смежных участков i и $i + 1$, следует решить уравнение вида

$$|f_{i+1}(A) - f_i(A)| = 0, \quad (1)$$

где $f_{i+1}(A)$ и $f_i(A)$ – аналитические выражения зависимости высоты спутника от азимута на участках i и $i + 1$, примеры графиков которых представлены на рис. 3.

В общем случае количество смежных участков границы ОСП для наблюдателя на трассе СМП не будет превышать удвоенного числа действующих в данный момент спутников созвездия. Следовательно, формируемая таким образом граница ОСП будет представлять замкнутую непрерывную кусочную нелинейную функцию на всей области существования азимута (от 0° до 360°). Аналитический вид такой функции представлен формулой (2),

полинома, график которого можно видеть на рис. 5, выбрана согласно [8]. После вычислений коэффициентов полинома он получил следующий вид:

$$h = 4 \cdot 10^{-8} \text{Ч}^4 - 3 \cdot 10^{-5} \text{Ч}^3 + 0,0062 \text{Ч}^2 - 0,1376 \text{Ч} + 28,94. \quad (3)$$

Несомненно, граница ОСП, рассчитанная по формуле (2), будет точнее той, которая определяется формулой (3). Чтобы окончательно сравнить их точности, необходимо разработать процедуру получения аналитических выражений $f_i(A)$ по траекторным данным. В любом случае трудоёмкость вычислений по формуле (2) будет во много раз превосходить вычисления по формуле (3).

Формула (3) имеет ещё один недостаток. Он заключается в том, что линия границы ОСП, получаемая по формуле (3) не будет замкнутой в начале и в конце области существования азимута (0° и 360°), как это можно видеть на рис. 5. Поэтому дальнейшее изучение сравнительной точности определения границы ОСП, необходимо связать с устранением этого недостатка.

Список литературы

1. Комаровский Ю. А. Продолжительность видимости спутников СРНС Навстар GPS в высоких широтах // Вестник Морского государственного университета. Серия : Судовождение. – Вып. 46/2011. – Владивосток : Мор. гос. ун-т, 2011. С. 41-47.
2. Комаровский Ю. А. Оценка пригодности системы GPS для использования в высоких широтах // Вестник Морского государственного университета. Вып. 45/2011. Серия : Автоматическое управление, математическое моделирование и информационные технологии. – Владивосток : Мор. гос. ун-т, 2011. С. 25-31.
3. Комаровский Ю. А. Суточная неравномерность числа видимых спутников системы GPS // Научные проблемы транспорта Сибири и Дальнего Востока, № 1, Новосибирск, 2012. С. 231-236.
4. Комаровский Ю. А. Наблюдаемость спутников СРНС Навстар GPS // Вестник Морского государственного университета. Вып. 15. – Серия: Судовождение. – Владивосток: Мор. гос. ун-т, 2007. С. 35-41.
5. Комаровский Ю. А. Эволюция видимого созвездия СРНС Навстар GPS // Вестник Морского государственного университета. – Вып. 50. – Серия : История морской науки, техники и образования. – Владивосток : Мор. гос. ун-т, 2011. С. 55-61.
6. Комаровский Ю. А. Первые спутниковые навигационные системы: монография/ – Владивосток: Дальневосточный институт коммуникаций, 2014. 243 с.
7. Таратынова Г. П. О движении искусственного спутника в нецентральной поле тяготения Земли при наличии сопротивления атмосферы // Успехи физических наук, Т. LXIII, вып. 1, сентябрь 1957. С. 51-58.
8. Комаровский Ю. А. Оценка максимальной степени аппроксимирующих полиномов регрессионных моделей в судовождении // Вестник Морского государственного университета. Вып. 9. Серия: Судовождение.– Владивосток: Мор. гос. ун-т, 2005. С. 47-52.

ЗАЩИТА АКВАТОРИИ ОТ НЕСАНКЦИОНИРОВАННОГО ДОСТУПА АКВАЛАНГИСТА С ДЫХАТЕЛЬНЫМ АППАРАТОМ ОТКРЫТОГО ТИПА

В настоящее время ещё не решена проблема охраны акваторий фермерских хозяйств марикультуры от браконьеров, оснащенных подводными дыхательными аппаратами. Для охраны акваторий требуются недорогие, эффективные технические средства обнаружения подводного пловца (аквалангиста). Обнаружить аквалангиста можно гидроакустическими устройствами активного типа – гидролокаторами. Такой способ обнаружения нарушителя требует патрулирования акватории, наличия дорогостоящего гидролокационного оборудования, обладающего высокой пространственной разрешающей способностью.

Для целей охраны акватории простыми, средствами предлагается использовать пассивный метод, основанный на обнаружении шума всплывающего пузыря выдыхаемого пловцом воздуха, с последующим определением его места положения методами триангуляции. Такой метод обнаружения предполагает размещение по акватории нескольких заглубленных приемных антенн слабой направленности, с усилителями сигналов, и линии связи с пунктом охраны. Желательно использовать проводную связь, так как по ней можно обеспечивать и энергоснабжение усилителей. На рисунке 1 приведена схема размещения оборудования для обнаружения пловца

Основной недостаток пассивных систем обнаружения – ограниченность в возможностях по выделению полезного сигнала из естественных шумов моря. Вся совокупность шумов: прибоя, ветрового волнения, судоходства, жизнедеятельности биологических объектов имеет общую спектральную полосу с полезным сигналом, в данном случае, с шумом всплывающего пузыря выдыхаемого аквалангистом воздуха.

Сторонние шумы маскируют полезный сигнал, повышают порог его обнаружения. Для снижения порога обнаружения необходима эффективная фильтрация, основанная на знании исключительных признаков сигнала. Наличие таких признаков позволяет проводить оптимальную обработку. Проанализируем шум всплывающего пузыря на наличие таких признаков. Первое свойство полезного сигнала (шума) – периодичность. Период его связан с физиологией дыхания. Частота дыхания может варьироваться в зависимости от тяжести выполняемой пловцом работы. Можно принять период дыхания 2 – 4 с. Далее необходимо оценить объем выдыхаемого воздуха. В среднем, при нормальном давлении, человек потребляет тридцать литров воздуха в минуту, что соответствует объему одного вдоха/выдоха ≈ 1.5 литра. Если принять глубину погружения аквалангиста де-

сять метров, то этот объем составит те – же полтора литра (1500 см³), под удвоенным давлением.

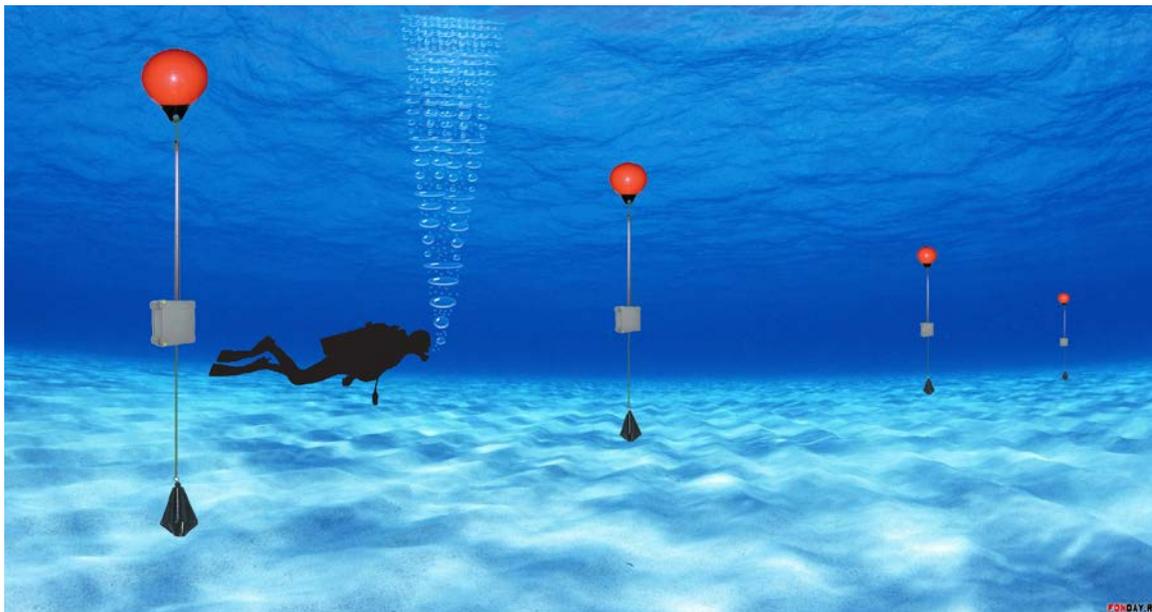


Рис. 1. Схема размещения оборудования для обнаружения пловца

Шум всплывающего пузыря определяется, в основном, флуктуациями давления обтекающего потока, и турбулентных пульсаций, возникающих при скоростях потока более критической. Характер обтекания определяется числом Рейнольдса.

$$Re = \frac{\rho v l}{\mu} \quad (1)$$

где ρ – плотность среды, v – скорость обтекания препятствия, l – характерный линейный размер препятствия (радиус для пузырька), μ – вязкость среды.

При $Re \ll 1$ траектории обтекающего потока огибают препятствия без отрыва от его поверхности (ламинарный), при $Re \approx 1$ и более поток отрывается от препятствия и становится турбулизированным, что приводит к значительному увеличению акустического шума. Наиболее полные экспериментальные исследования закономерностей всплытия пузырьков проведены Хаберманом и Мортонем [1]. На рисунке 2 приведены экспериментальные зависимости скорости всплытия пузырьков от их размеров [2].

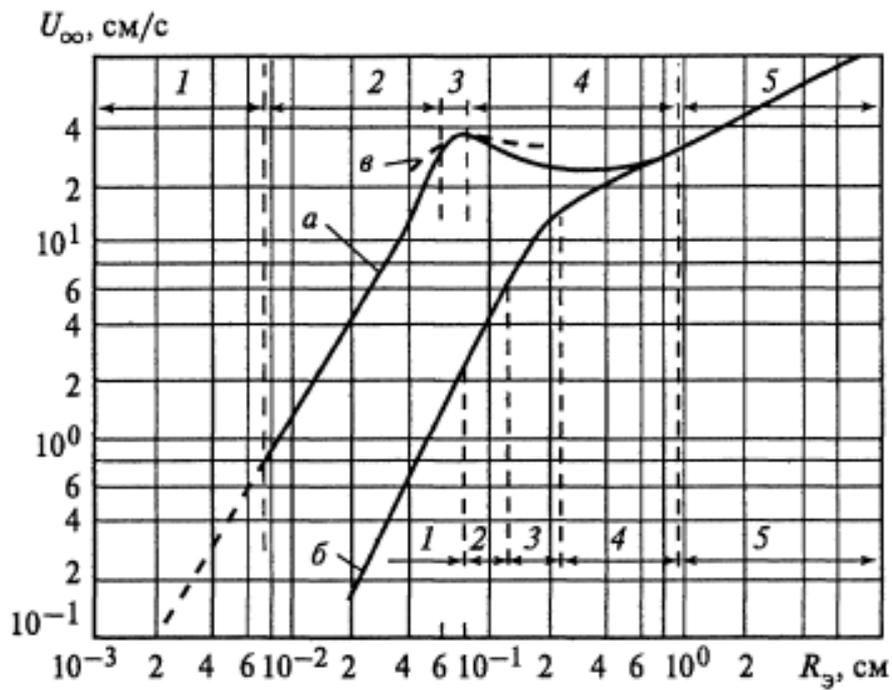


Рис.2. Зависимость скорости всплытия пузырьков от их размеров в дистиллированной воде (кривая а) и в минеральном масле (кривая б)

Пронумерованные на рисунке диапазоны размеров пузырьков соответствуют различным законам всплытия, определяемых соотношением статических и динамических сил, действующих на пузырек. На рисунке 3 приведены формы пузырьков и виды характера обтекания их в соответствии номерами диапазонов рисунка 1 [2].

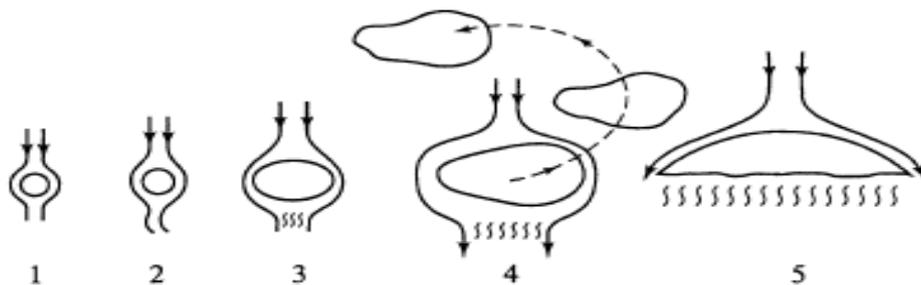


Рис. 3 Примерные формы пузырьков и виды характера обтекания их в соответствии номерами диапазонов (стрелкой показано появление неустойчивости траектории всплытия)

Диапазон 1 соответствует весьма малым скоростям с $Re < 1$, где применимо вычисление скорости по теории Стокса

$$U_{\infty} = \frac{2a^2 g(\rho_{жс} - \rho_{г})}{9 \mu} \quad (2)$$

где U_{∞} - скорость всплытия в установившемся режиме.

Вычисления по этой формуле применимо вплоть до $Re \approx 1$, при этом

погрешность не превышает 10%. Область 2 характеризует всплытие сферических пузырьков при $Re > 1$. Эта область простирается вплоть до $Re = 300 - 400$. При дальнейшем увеличении размеров всплывающих пузырьков, для определения их скорости при $Re \gg 1$, необходимо учитывать отклонение их формы от сферической. Описание закономерностей всплытия пузырьков в этой зоне удобно с привлечением метода теории подобия [2]. Метод позволяет, через различные числа (критерии), учесть изменение формы и, в некоторых случаях, рассчитать скорость. Он особенно полезен при качественном анализе динамических процессов. Основным критерием сохранения сферичности формы пузырька является преобладание:

– силы поверхностного натяжения жидкости $f_\sigma \sim \sigma/l$ над иными силами;

– силы инерции $f_i \sim \rho^1 w^2$;

– силы тяжести (архимедовы) $f_g \sim g(\rho^1 - \rho^{II})$;

– силы вязкости $f_\mu \sim \mu^1 w/l$.

Здесь индексы II и I относятся к жидкой и газовой фазам, соответственно.

Отношение деформирующих сил к стабилизирующей силе поверхностного натяжения выражается числами подобия:

– $\frac{f_g}{f_\sigma} = \frac{g(\rho^1 - \rho^{II})}{\sigma} = Bo$ – число Бонда;

– $\frac{f_i}{f_\sigma} = \frac{\rho^1}{\sigma} W^2 l = We$ – число Вебера;

– $\frac{f_\mu}{f_\sigma} = \frac{\mu W}{\sigma} = N_{\mu\sigma}$ – вязкостно-капиллярный критерий.

Тогда, сферичность пузырька можно выразить через эти критерии. Для сферы $Bo \ll 1$; $We \ll 1$; $N_{\mu\sigma} \ll 1$.

На рисунке 3 область 3 характеризуется устойчивым движением сплюснутых эллипсоидов вращения. Эта область охватывает от $Re = 300 - 400$ до приблизительно 500. По данным Харпера [3], верхняя граница области для жидкостей малой вязкости соответствует $We \approx 3.2 - 3.7$. Здесь уже происходит отрыв обтекающего потока от границы раздела фаз, сопровождающийся увеличением акустического шума. При больших значениях We , движение всплытия пузырька становится колебательным, неустойчивым, а форма пузырька еще более сплюснута и динамична. Область 4 является переходной от эллиптической формы пузырька к форме сферического сегмента. Эта область соответствует $Bo \approx 1$, $We > 1$, $Re \gg 1$. Оценка скорости всплытия пузырька в этой области дает величину 0.24 - 0.32 м/с. Область 5 наиболее интересна для наших исследований. Характерные объемы пузырька в этой области $V \geq 2 \text{ см}^3$, форма пузырька при этом представляет собой почти правильный сферический сегмент, со слегка вогнутой, либо прямой задней поверхностью, случайно колеблющейся вблизи равновесного уровня. Обтекание сферического сегмента исследовалось в [4], на модели, в виде сферы радиусом равным радиусу сферического сегмента, полученное здесь выражение для установившейся скорости всплытия U_∞ имеет вид:

$$U_{\infty} = 0.826\sqrt{gV^{1/3}} \quad (3),$$

где V – объем пузырька.

Выражение справедливо для пузырьков размеров менее 50 см^3 . Для пузырьков размеров больше 50 см^3 нет теоретических разработок. В диапазоне размеров выше указанного, в жидкостях малой вязкости, существует лишь качественное описание процесса всплытия. При увеличении размеров пузырька происходит уменьшение кривизны лобовой поверхности сферического сегмента, что приводит к увеличению сопротивления обтекания, значительным турбулентным пульсациям и возрастанию разрежения на его задней поверхности. При этом сферический сегмент утоньшается в центре до пленки, с последующим разрушением на пузырьки меньшего, устойчивого размера.

Таким образом, при выдохе аквалангиста генерируется пузырь объемом многократно превышающим устойчивый. Практически сразу этот пузырь распадается на множество мелких и несколько крупных, устойчивых, которые при всплытии расширяются, в результате падения гидростатического давления. Расширившись до критических размеров, они снова разрушаются. Число таких циклов зависит от глубины погружения аквалангиста. Полученных данных достаточно чтобы построить модель сигнала. Упрощенный вид огибающей этого сигнала приведен на рисунке 4.

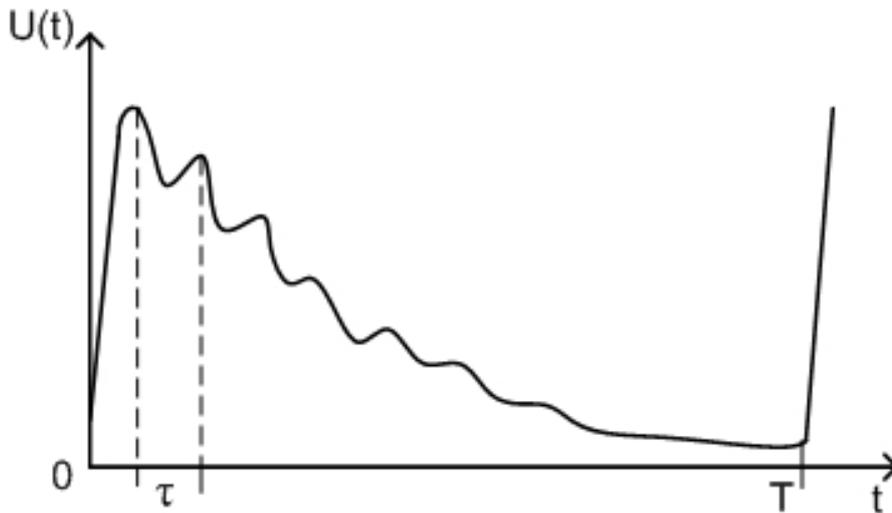


Рис. 4 Огибающая шума всплытия пузыря
(T – период дыхания, τ – интервал между обрушениями пузыря)

Конечно, периодичность реального сигнала не столь явно выражена. На рисунке 5 приведена фотография аквалангистов, с всплывающими пузырьками выдыхаемого воздуха. Столбы, всплывающих пузырьков от аквалангистов, иллюстрирует периодичность процесс роста и обрушения.



Рис. 5. Фото аквалангистов с пузырьками выдыхаемого воздуха.

Скорость всплытия самых крупных пузырей, оцененная по (3) не превышает 0,5 м/с. Это означает, что при глубине погружения в несколько метров время всплытия к поверхности многократно превышает период дыхания, т.е. сигналы нескольких выдохов перекрываются.

Для этой модели целесообразно применить совместную внутрипериодную и межпериодную обработку. Внутрипериодная обработка должна быть направлена на обнаружение скрытой периодичности, связанной с процессом разрушения пузырей критического размера. Лучшие результаты при выявлении скрытых периодичностей в нестационарных процессах получают с использованием оконного преобразования Фурье, либо вейвлет анализа [5], имеющего для непрерывного процесса вид:

$$W(a, b) = |a|^{-\frac{1}{2}} \int_{-\infty}^{\infty} f(t) \psi^* \left(\frac{t-b}{a} \right) dt. \quad (4)$$

здесь a – коэффициент масштабного преобразования, b – параметр сдвига, $\psi(t)$ – вейвлет, $*$ – символ комплексного сопряжения. Преобразование осуществляется при помощи непрерывных масштабных деформаций и переносов вейвлета $\psi(t)$. Для обнаружения скрытых периодичностей более всего подходит вейвлет вида (вейвлет Морле):

$$\psi(r) = \exp \left(ik_b - \frac{r^2}{2} \right). \quad (5)$$

где r – радиус-вектор комплексной переменной.

Возможно так же использование вейвлета вида МНАТ («мексиканская шляпа»):

$$\psi(t) = (1 - t^2) \exp\left(-\frac{t^2}{2}\right) \quad (6)$$

Межпериодную обработку можно провести при помощи автокорреляционного анализа данных вейвлет преобразования. Результатом обработки здесь будет периодическая автокорреляционная функция, с периодом равным периоду дыхания.

Список литературы

1. Haberman W. L., Morton R. K. An experimental study of bubbles moving in liquids // Trans. of Amer. Soc. Of Civil Engineers, 1956. Vol. 121. P. 227-252.
2. Д. А. Лабунцов, В. В. Ягов Механика двухфазных систем Москва, издательство МЭИ 2000г.
3. Harper J. F. Motion of bubbles and drops through liquids // Adv. Appl. Mech. 1972 Vol. 12. P. 59-129/
4. Бэтчелор Дж. Введение в динамику жидкости. М.: Мир, 1973.
5. Введение в анализ данных с применением непрерывного преобразования. Jacques, Syracuse University, перевод Грибунин В. Г., АВТЭКС, Санкт-Петербург, <http://www.autex/spb.ru>

УДК 681.51

Е. Б. Осокина

ИДЕНТИФИКАЦИЯ ПАРАМЕТРОВ СУДНА С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ НЕЛИНЕЙНОЙ МОДЕЛИ ПЕРВОГО ПОРЯДКА

Управление морским подвижным объектом с учётом многомерности управляемого объекта и неизбежных воздействиях внешней среды является сложной актуальной практической задачей. При рассмотрении её частных случаев возможно использование не обобщённой математической модели, а простых моделей морских подвижных объектов [1]. Например, для решения задачи управления курсом надводного водоизмещающего судна может быть применена нелинейная модель первого порядка – модель Норбина [2], учитывающая нелинейную зависимость момента вязкого сопротивления от скорости рысканья. Если предположить, что момент силы вязкого сопротивления имеет характер степенной зависимости от скорости рысканья, то эта модель может быть представлена в виде следующих дифференциальных уравнений:

$$\dot{\varphi} = \omega$$

$$\dot{\omega} = -\frac{k_{\delta}}{J} \delta + \frac{k_{p1}}{J} \omega^3 + \frac{k_{p2}}{J} \omega^2 + \frac{k_{p3}}{J} \omega, \quad (1)$$

где φ – курс, ω – угловая скорость (скорость рысканья), δ – угол отклонения руля, k_δ и k_{p_i} – коэффициенты момента силы и вязкого сопротивления, J – общий момент инерции (с учётом присоединённых масс воды). Параметры модели могут варьироваться в достаточно широких пределах в зависимости от скорости движения, загрузки судна и др. факторов.

Идентификация параметров математической модели судна нужна для того, чтобы синтезировать систему управления движением судна.

Применяя, разработанный А.Л. Фрадковым [3] метод скоростного градиента, для выбранной нелинейной модели первого порядка получаем:

$$\dot{\omega} = A_1 \omega^3 + A_2 \omega^2 + A_3 \omega + B\delta, \quad (2)$$

где $A_1 = \frac{k_{p1}}{J}$; $A_2 = \frac{k_{p2}}{J}$; $A_3 = \frac{k_{p3}}{J}$; $B = -\frac{k_\delta}{J}$.

Для настраиваемой модели:

$$\dot{\omega}_m = A_{m1} \omega^3 + A_{m2} \omega^2 + A_{m3} \omega + B_m \delta + v, \quad (3)$$

где a_m, b_m – настраиваемые параметры, v – вспомогательный сигнал.

Дополнительная переменная, характеризующая отклонение сигнала на выходе настраиваемой модели от сигнала на выходе объекта:

$$S = \omega - \omega_m \quad (4)$$

Зададимся целевой функцией:

$$Q = \frac{1}{2} S^2 \quad (5)$$

Вычислим производную целевой функции по времени в силу (2) и (3):

$$\dot{Q} = s\dot{s} = s(\dot{\omega} - \dot{\omega}_m) = s \begin{pmatrix} A_1 \omega^3 + A_2 \omega^2 + A_3 \omega + B\delta - A_{m1} \omega^3 \\ -A_{m2} \omega^2 - A_{m3} \omega - B_m \delta - v \end{pmatrix} \quad (6)$$

Дифференцирование (6) по параметрам настраиваемой модели даёт следующее:

$$\begin{aligned} \frac{\partial \dot{Q}}{\partial A_{m1}} &= -s\omega^3; \\ \frac{\partial \dot{Q}}{\partial A_{m2}} &= -s\omega^2; \\ \frac{\partial \dot{Q}}{\partial A_{m3}} &= -s\omega; \end{aligned}$$

$$\frac{\partial Q}{\partial B_m} = -s\delta. \quad (7)$$

В результате алгоритм настройки нелинейной идентифицирующей модели может быть записан в виде:

$$\begin{aligned} \dot{A}_{m1} &= \gamma s \omega^3 \\ \dot{A}_{m2} &= \gamma s \omega^2 \\ \dot{A}_{m3} &= \gamma s \omega \\ \dot{B}_m &= \gamma s \delta \\ v &= v_0 \text{sign}(s) \end{aligned} \quad (8)$$

где γ – коэффициент настройки

Для моделирования в среде MATLAB Simulink [4] системы адаптивной идентификации с использованием выбранной модели (рис.1) на вход объекта управления был подан задающий сигнал из двух гармоник, отличающихся амплитудой и частотой, а также заданы коэффициенты:

$$A_1 = -1; A_2 = 0; A_3 = -2; B = 3$$

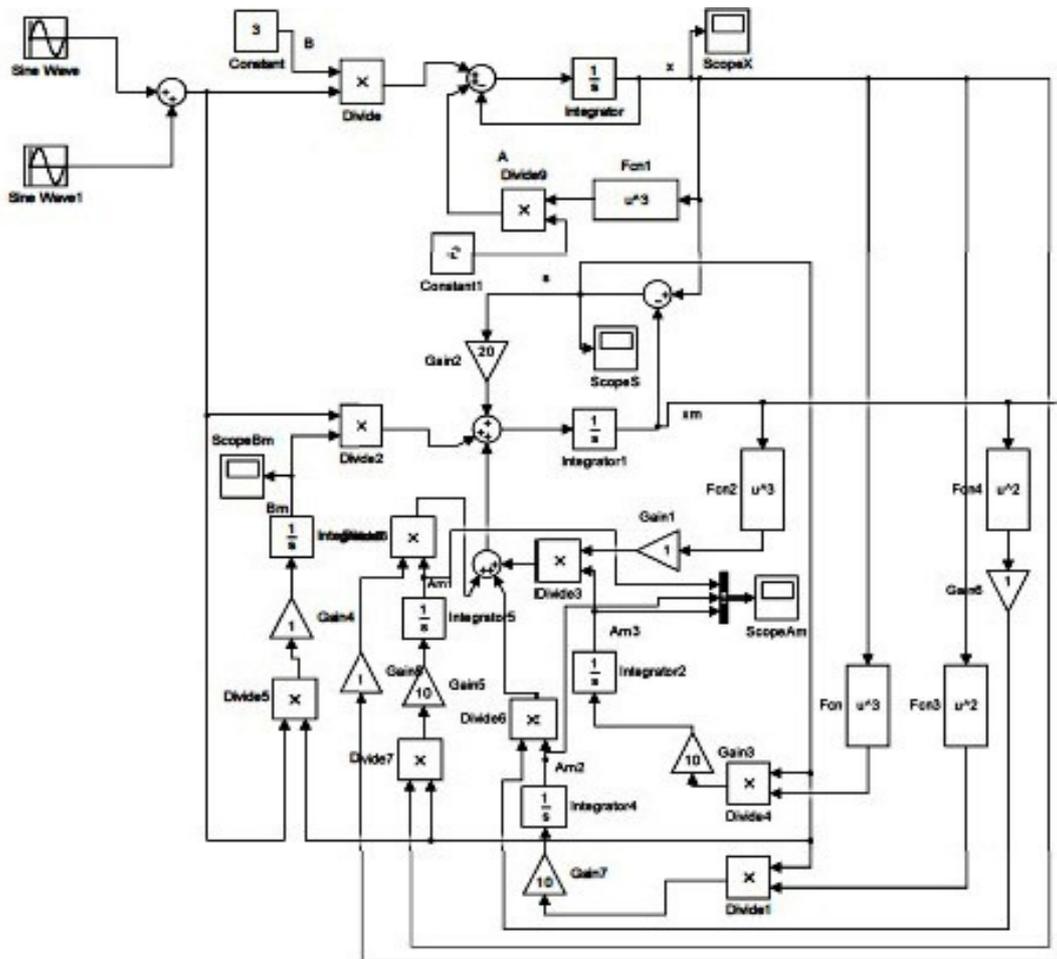


Рис.1. Система адаптивной идентификации параметров

В результате моделирования полученные характеристики (рис. 2-4) подтвердили для заданных параметров идентификационное свойство настраиваемой модели:

$$\begin{aligned} A_{mi} &\rightarrow A_i; \\ B_m &\rightarrow B; \\ S &\rightarrow 0. \end{aligned}$$

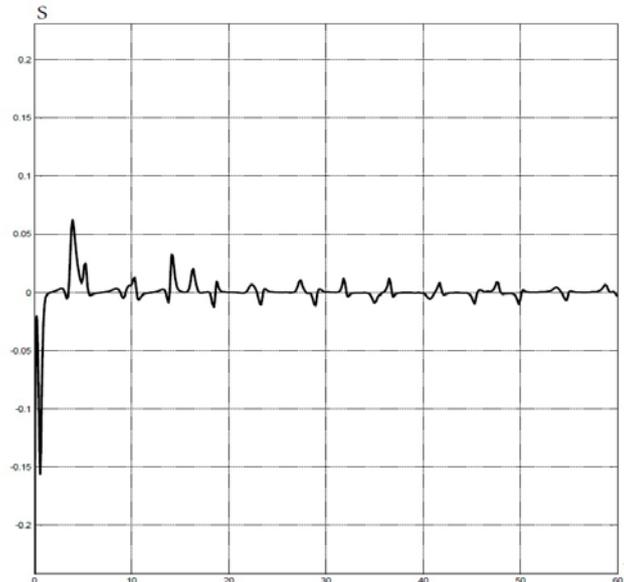


Рис.2. Рассогласование выходов объекта и настраиваемой модели

Численные эксперименты показали, что настраиваемые параметры A_{mi} (рис. 3) и B_m (рис.4), согласно идентификационному свойству модели, по величине стремятся к аналогичным коэффициентам, заданным для объекта управления:

$$A_{m1} \approx A_1 = -1; A_{m2} \approx A_2 = 0; A_{m3} \approx A_3 = -2; B_m \approx B = 3$$

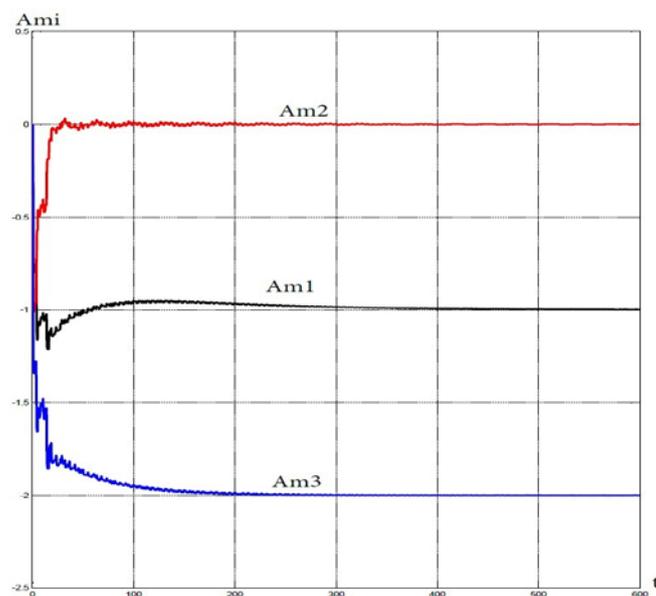


Рис. 3. Идентифицируемые параметры A_{mi}

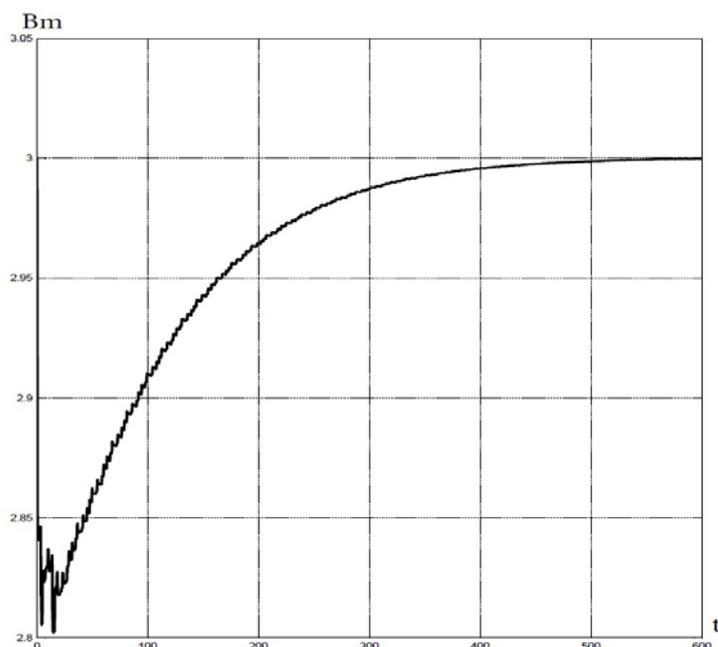


Рис. 4. Идентифицируемый параметр B_m

Таким образом, полученный алгоритм идентификации параметров показал свою эффективность применительно к нелинейной модели судна. В дальнейшем предполагается расширить область его применения на более сложные и многомерные объекты.

Список литературы

1. Лукомский Ю. А., В. Г. Пешехонов, Д. А. Скороходов. Навигация и управление движением судов: учебник.– СПб. : Элмор, 2002. – 360 с.
2. Панферов А. И., Лопарев А. В. Компьютерный анализ и синтез систем ориентации, стабилизации и навигации: учебн. пособие.– Санкт-Петербург: изд. СПбГУ, 2008.– 81 с.
3. Фрадков А. Л. Адаптивное управление в сложных системах: беспоисковые методы. — М.: Наука. Гл. ред. физ.-мат. лит., 1990. – 296 с.
4. Дьяконов В., Круглов В. Matlab. Анализ, идентификация и моделирование систем. Специальный справочник.– СПб.: Питер, 2002.– 446 с.

УДК 681.51

Е. Б. Осокина

ИНТЕРВАЛЬНЫЙ ПОДХОД К МОДЕЛИРОВАНИЮ ДИНАМИКИ МОРСКИХ ПОДВИЖНЫХ ОБЪЕКТОВ

При построении систем управления движением морских подвижных объектов (МПО) первостепенное значение имеет их математическая модель. В общем случае динамика МПО описывается сложным матричным

нелинейным дифференциальным уравнением [1]:

$$D(q)\ddot{q} + B(q, \dot{q})\dot{q} + G(q, \dot{q}) = U, \quad (1)$$

где q – вектор обобщённых координат МПО, D – матрица инерции МПО, B – матрица кориолисовых и центробежных сил, G – вектор сил и моментов, определяемых весом и плавучестью МПО, U – вектор управляющих сил и моментов.

Практическое использование модели (1) затруднено, ввиду её значительной сложности. Поэтому более распространёнными являются частные модели динамики, полученные упрощением модели (1), в частности, линейные модели Номото первого и второго порядка, нелинейные модели Норбина, Бега и др. [2,3]. К примеру, модель Номото 2-го порядка:

$$T_1 T_2 \frac{d^2 \omega}{dt^2} + (T_1 + T_2) \frac{d\omega}{dt} + \omega = K\delta \quad (2)$$

описывает движение судна на курсе (ω – скорость рыскания, δ – угол поворота руля, K , T_1 , T_2 – параметры).

Одной из существенных особенностей динамики МПО является то, что её параметры, присутствующие в уравнениях (1), (2) и др., в виде коэффициентов вязкого сопротивления, постоянных времени, присоединённых масс и моментов инерции и пр. изменяются в некоторых пределах. Поэтому модели динамики МПО – (1), (2) и им подобные целесообразно рассматривать как модели с интервальными параметрами или интервальные модели.

Процессы исследования и синтеза систем управления МПО должны учитывать отмеченную интервальную неопределённость параметров объектов. Интервальная модель объекта отражает условия, когда, принимая во внимание возможную изменчивость, точные величины его параметров не определены, а известны только границы диапазонов их изменения.

Интервальность модели МПО можно интерпретировать как вариант её параметрической неопределённости. К примеру, масса и моменты инерции судна зависят от его загрузки, геометрических характеристик, присоединённых масс воды и т.д. Также сложно определить точные значения коэффициентов вязкого сопротивления и другие параметры.

Для определения устойчивости интервальных динамических систем, к которым относятся и модели МПО, отечественными и зарубежными авторами были разработаны различные критерии. Распространено использование проверки необходимых и достаточных условий устойчивости интервальных полиномов определенных В. Л. Харитоновым. Согласно его теореме проверяются на устойчивость четыре специально сформированных полинома с предельными значениями коэффициентов из заданных интервалов [4].

Список литературы

1. Лукомский Ю. А. и др. Навигация и управление движением судов: учебник. - СПб. : Элмор, 2002. - 360 с. : ил.
2. Вагущенко Л. Л., Цымбал Н.Н. Системы автоматического управления движением судна.– Одесса: Латстар, 2002.–310 с.
3. Amerongen J. van Adaptive Steering of Ship: PhD thesis of Job van Amerongen.– Delft University of Technology, 2005.– p.156.
4. Харитонов В. Л. Об асимптотической устойчивости положения равновесия семейства систем линейных дифференциальных уравнений // Дифференциальные уравнения. 1978. № 11. — с.2086–2088.

УДК 681.51

Е. Б. Осокина

ИССЛЕДОВАНИЕ РОБАСТНОЙ УСТОЙЧИВОСТИ СИСТЕМЫ НА ОСНОВЕ ЛИНЕЙНОЙ МОДЕЛИ ВТОРОГО ПОРЯДКА

Одним из основных требований к системам управления является их робастность, т.е. сохранение системой устойчивости при возможных некоторых отличиях динамики объекта и параметров внешних возмущений от тех, что были заданы на стадии разработки [1]. Возможные изменения параметров могут быть заданы определёнными интервалами. Необходимые и достаточные условия устойчивости интервальных полиномов были определены В.Л. Харитоновым. Теорема Харитонова применима при условии, что коэффициенты характеристического полинома изменяются на заданных интервалах независимо друг от друга. Количество полиномов Харитонова, используемых для определения устойчивости, зависит от их степени, т.е. для полиномов низкой степени возможна проверка только некоторых из них. Для полиномов третьей, четвёртой и пятой степени достаточно проверить устойчивость одного, двух и трёх первых полиномов соответственно[2].

Для анализа посредством теоремы Харитонова робастной устойчивости полинома, в котором коэффициенты представляют собой функции интервальных параметров, эти коэффициенты должны быть заданы в виде интервалов[3].

Для выяснения устойчивости системы управления морским подвижным объектом с использованием линейной модели Номото 2-го порядка (рис.1) первоначально формируется характеристический полином.

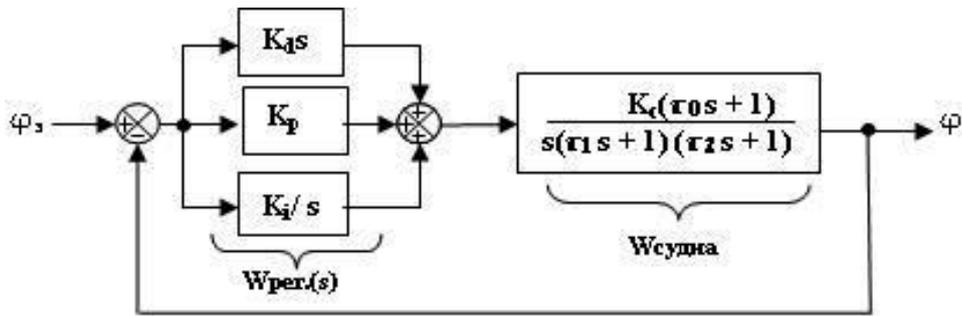


Рис.1. Система управления морским подвижным объектом с использованием линейной модели Номото 2-го порядка

При использовании традиционного ПИД-регулятора (рис.1) общая передаточная функция разомкнутой системы равна:

$$W_{\text{общ.}}(s) = W_{\text{рег.}}(s) * W_{\text{судна}}(s) = \left(K_d * s + K_p + \frac{K_i}{s} \right) * \frac{K_c * (\tau_0 * s + 1)}{s * (\tau_1 * s + 1) * (\tau_2 * s + 1)} = \frac{(K_d * s^2 + K_p * s + K_i)}{s} * \frac{K_c * (\tau_0 * s + 1)}{s * (\tau_1 * s + 1) * (\tau_2 * s + 1)}$$

Таким образом, получаем характеристическое уравнение:

$$s^2 * (\tau_1 * s + 1) * (\tau_2 * s + 1) + K_c * (\tau_0 * s + 1) * (K_d * s^2 + K_p * s + K_i) = 0$$

Задав для определённости коэффициент поворотливости на курсе $K_c=0,2 \div 0,4$, и приняв для постоянных времени $\tau_1 * \tau_2 = T_x$; $\tau_1 + \tau_2 = T_\Sigma$, получаем:

$$\frac{T_x}{K_c} * s^4 + \frac{T_\Sigma}{K_c} * s^3 + \left(\frac{1}{K_c} + K_d + \tau_0 * K_p \right) * s^2 + (K_p + \tau_0 * K_i) * s + K_i = 0$$

В рассматриваемом уравнении $a_0 = \frac{T_x}{K_c}$; $a_1 = \frac{T_\Sigma}{K_c}$; $a_2 = \frac{1}{K_c} + K_d + \tau_0 * K_p$; $a_3 = K_p + \tau_0 * K_i$; $a_4 = K_i$. Для уравнения четвёртого порядка необходимо рассмотреть первые два полинома Харитонова:

$$P_1(s) = \overline{a_0} * s^4 + \overline{a_1} * s^3 + \overline{a_2} * s^2 + \overline{a_3} * s + \overline{a_4}$$

$$P_2(s) = \overline{a_0} * s^4 + \overline{a_1} * s^3 + \overline{a_2} * s^2 + \overline{a_3} * s + \overline{a_4};$$

Из интервальных коэффициентов уравнения строятся матрицы для $P_1(s)$ и $P_2(s)$ и вычисляются определители Гурвица.

Таким образом, для $P_1(s)$:

$$\begin{array}{cccc} \underline{a_1} & \overline{a_3} & 0 & 0 \\ \overline{a_0} & \underline{a_2} & \overline{a_4} & 0 \\ 0 & \underline{a_1} & \overline{a_3} & 0 \\ 0 & \overline{a_0} & \underline{a_2} & \overline{a_4} \end{array},$$

следовательно необходимо выполнение условий:

$$\begin{aligned} \Delta_1 &= \left(\frac{T_\Sigma}{K_c} \right)_{\min} > 0 \\ \Delta_2 &= \left(\frac{T_\Sigma}{K_c} \right)_{\min} * \left(\frac{1}{K_c} + K_d + \tau_0 * K_p \right)_{\min} - \left(\frac{T_x}{K_c} \right)_{\max} * (K_p + \tau_0 * K_i)_{\max} > 0 \\ \Delta_3 &= \left(\left(\frac{T_\Sigma}{K_c} \right)_{\min} * \left(\frac{1}{K_c} + K_d + \tau_0 * K_p \right)_{\min} * (K_p + \tau_0 * K_i)_{\max} \right) \\ &\quad - \left(\left(\frac{T_\Sigma}{K_c} \right)_{\min}^2 * K_{imax} + \left(\frac{T_x}{K_c} \right)_{\max} * (K_p + \tau_0 * K_i)_{\max}^2 \right) > 0 \\ \Delta_4 &= \Delta_3 * K_i > 0 \end{aligned}$$

Для $P_2(s)$:

$$\begin{array}{cccc} \overline{a_1} & \underline{a_3} & 0 & 0 \\ \overline{a_0} & \underline{a_2} & \overline{a_4} & 0 \\ 0 & \overline{a_1} & \underline{a_3} & 0 \\ 0 & \overline{a_0} & \underline{a_2} & \overline{a_4} \end{array}$$

Согласно критерию Гурвица для устойчивости необходимо и достаточно, чтобы все n-диагональных миноров (определителей Гурвица) были положительны:

$$\begin{aligned} \Delta_1 &= \left(\frac{T_\Sigma}{K_c} \right)_{\max} > 0 \\ \Delta_2 &= \left(\frac{T_\Sigma}{K_c} \right)_{\max} * \left(\frac{1}{K_c} + K_d + \tau_0 * K_p \right)_{\min} - \left(\frac{T_x}{K_c} \right)_{\max} * (K_p + \tau_0 * K_i)_{\min} > 0 \\ \Delta_3 &= \left(\left(\frac{T_\Sigma}{K_c} \right)_{\max} * \left(\frac{1}{K_c} + K_d + \tau_0 * K_p \right)_{\min} * (K_p + \tau_0 * K_i)_{\min} \right) \\ &\quad - \left(\left(\frac{T_\Sigma}{K_c} \right)_{\max}^2 * K_{imax} + \left(\frac{T_x}{K_c} \right)_{\max} * (K_p + \tau_0 * K_i)_{\min}^2 \right) > 0 \\ \Delta_4 &= \Delta_3 * K_i > 0 \end{aligned}$$

Как следствие, условие устойчивости по Δ_2 для P_1 можно записать в виде:

$$T_{x\max} < \frac{\left(\left(\frac{T_{\Sigma}}{K_c} \right)_{\min} * \left(\frac{1}{K_c} + K_d + \tau_0 * K_p \right)_{\min} \right) * K_{c\max}}{\left(K_p + \tau_0 * K_i \right)_{\max}}$$

по Δ_3 :

$$\begin{aligned} & \left(\left(\frac{T_{\Sigma}}{K_c} \right)_{\min} * \left(\frac{1}{K_c} + K_d + \tau_0 * K_p \right)_{\min} * \left(K_p + \tau_0 * K_i \right)_{\max} \right) \\ & > \left(\left(\frac{T_{\Sigma}}{K_c} \right)_{\min}^2 * K_{i\max} + \left(\frac{T_x}{K_c} \right)_{\max} * \left(K_p + \tau_0 * K_i \right)_{\max}^2 \right) \\ T_{\Sigma\min} & > \frac{\left(\left(\frac{T_{\Sigma}}{K_c} \right)_{\min}^2 * K_{i\max} + \left(\frac{T_x}{K_c} \right)_{\max} * \left(K_p + \tau_0 * K_i \right)_{\max}^2 \right) * K_{c\min}}{\left(\frac{1}{K_c} + K_d + \tau_0 * K_p \right)_{\min} * \left(K_p + \tau_0 * K_i \right)_{\max}} \end{aligned}$$

Для P_2 по Δ_2 :

$$T_{x\max} < \frac{\left(\left(\frac{T_{\Sigma}}{K_c} \right)_{\max} * \left(\frac{1}{K_c} + K_d + \tau_0 * K_p \right)_{\min} \right) * K_{c\max}}{\left(K_p + \tau_0 * K_i \right)_{\min}}$$

по Δ_3 :

$$\begin{aligned} & \left(\left(\frac{T_{\Sigma}}{K_c} \right)_{\max} * \left(\frac{1}{K_c} + K_d + \tau_0 * K_p \right)_{\min} * \left(K_p + \tau_0 * K_i \right)_{\min} \right) \\ & > \left(\left(\frac{T_{\Sigma}}{K_c} \right)_{\max}^2 * K_{i\max} + \left(\frac{T_x}{K_c} \right)_{\max} * \left(K_p + \tau_0 * K_i \right)_{\min}^2 \right) \\ T_{\Sigma\max} & > \frac{\left(\left(\frac{T_{\Sigma}}{K_c} \right)_{\max}^2 * K_{i\max} + \left(\frac{T_x}{K_c} \right)_{\max} * \left(K_p + \tau_0 * K_i \right)_{\min}^2 \right) * K_{c\max}}{\left(\frac{1}{K_c} + K_d + \tau_0 * K_p \right)_{\min} * \left(K_p + \tau_0 * K_i \right)_{\min}} \end{aligned}$$

В принятой математической модели динамики морского подвижного объекта параметры T_x и T_{Σ} отражают инерционные свойства, которые могут варьироваться в значительных пределах, к примеру, при изменении загрузки судна или другого морского подвижного объекта. Теорема Харитонова позволяет оценить устойчивость системы управления в подобной ситуации. Для её использования необходимо задаться интервалами для переменных коэффициентов. Допустим, $\tau_0 = [7,5; 12,5]$, $\tau_1 = [1,8; 3,5]$, $\tau_2 = [20,3; 32,8]$. В приведённом примере учитываются в коэффициентах a_0 и a_1 : $T_x = [36,54; 114,8]$, $T_{\Sigma} = [22,1; 36,3]$, в коэффициентах a_2 , a_3 , a_4 составляющая $K_c = [0,15; 0,5]$ остальные составляющие коэффициентов при-

няты постоянными: $K_p = 0,9$; $K_i = 0,003$; $K_d = 0,7$.

При использовании ПИД регулятора, с учётом принятых интервалов для для $P_1(s)$:

$$\Delta_1 = 147,3 > 0$$

$$\Delta_2 = 147,3 * \left(\frac{1}{0,15} + 0,7 + 7,5 * 0,9 \right) - \frac{114,8}{0,5} * (0,9 + 12,5 * 0,003) \\ = 2079,4 - 215,25 = 1864,15 > 0$$

$$\Delta_3 = \left(147,3 * \left(\frac{1}{0,15} + 0,7 + 7,5 * 0,9 \right) * (0,9 + 12,5 * 0,003) \right) \\ - \left(147,3^2 * 0,003 + \frac{114,8}{0,5} * (0,9 + 12,5 * 0,003)^2 \right) \\ = 1949,44 - 266,89 = 1682,55 > 0$$

$$\Delta_4 = 5,05 > 0$$

Для $P_2(s)$:

$$\Delta_1 = 72,6 > 0$$

$$\Delta_2 = 72,6 * \left(\frac{1}{0,15} + 0,7 + 7,5 * 0,9 \right) - \frac{114,8}{0,5} * (0,9 + 7,5 * 0,003) \\ = 1024,8 - 211,8 = 813,07 > 0$$

$$\Delta_3 = \left(72,6 * \left(\frac{1}{0,15} + 0,7 + 7,5 * 0,9 \right) * (0,9 + 7,5 * 0,003) \right) \\ - (72,6^2 * 0,003 + 229,6 * (0,9 + 7,5 * 0,003)^2) \\ = 945,38 - 195,4 = 749,98 > 0$$

$$\Delta_4 = 2,25 > 0$$

При использовании ПИ- регулятора, для $P_1(s)$:

$$\Delta_1 = 147,3 > 0$$

$$\Delta_2 = 147,3 * \left(\frac{1}{0,15} + 7,5 * 0,9 \right) - \frac{114,8}{0,5} * (0,9 + 12,5 * 0,003) = 1076,59 \\ > 0$$

$$\Delta_3 = \left(147,3 * \left(\frac{1}{0,15} + 7,5 * 0,9 \right) * (0,9 + 12,5 * 0,003) \right) \\ - \left(147,3^2 * 0,003 + \frac{114,8}{0,5} * (0,9 + 12,5 * 0,003)^2 \right) \\ = 1852,76 - 266,89 = 1585,87 > 0$$

$$\Delta_4 = 4,76 > 0$$

Для $P_2(s)$:

$$\Delta_1 = 72,6 > 0$$

$$\Delta_2 = 72,6 * \left(\frac{1}{0,15} + 7,5 * 0,9 \right) - \frac{114,8}{0,5} * (0,9 + 7,5 * 0,003) = 414,64 > 0$$

$$\Delta_3 = \left(72,6 * \left(\frac{1}{0,15} + 7,5 * 0,9 \right) * (0,9 + 7,5 * 0,003) \right) - (72,6^2 * 0,003 + 229,6 * (0,9 + 7,5 * 0,003)^2) = 1852,76 - 211,2 = 1641,56 > 0$$

$$\Delta_4 = 4,93 > 0$$

При использовании П- регулятора характеристическое уравнение приобретает вид:

$$T_x * s^3 + T_{\Sigma} * s^2 + (1 + K_p * K_c * \tau_0) s + K_p * K_c = 0$$

Для уравнения третьего порядка достаточно рассмотрения только первого полинома Харитонова:

$$P_1(s) = \bar{a}_0 * s^3 + \underline{a}_1 * s^2 + \underline{a}_2 * s + \bar{a}_3$$

Из интервальных коэффициентов уравнения строится матрица для $P_1(s)$ и вычисляются определители Гурвица:

$$\begin{array}{ccc|ccc} \underline{a}_1 & \bar{a}_3 & 0 & T_{\Sigma \min} & K_p * K_{c \max} & 0 \\ \bar{a}_0 & \underline{a}_2 & 0 & T_{x \max} & (1 + K_p * K_c * \tau_0)_{\min} & 0 \\ 0 & \underline{a}_1 & \bar{a}_3 & 0 & T_{\Sigma \min} & K_p * K_{c \max} \end{array} =$$

С учётом принятых интервалов и $K_p = 0,6$:

$$\begin{aligned} \Delta_1 &= T_{\Sigma \min} = 22,1 > 0 \\ \Delta_2 &= \left(T_{\Sigma \min} * (1 + K_p * K_c * \tau_0)_{\min} \right) - (T_{x \max} * K_p * K_{c \max}) = 22,1 * (1 + 0,6 * 0,15 * 7,5) - (114,8 * 0,6 * 0,5) = \\ &= 44,48 - 51,66 = 2,6 > 0 \\ \Delta_3 &= \Delta_2 * K_p * K_{c \max} = 0,8 > 0 \end{aligned}$$

При использовании ПД-регулятора характеристическое уравнение приобретает вид:

$$T_x * s^3 + (T_{\Sigma} + K_d * K_c * \tau_0) * s^2 + \left(\frac{1}{K_c} + K_p * \tau_0 + K_d \right) * s + K_p * K_c = 0$$

Соответствующая матрица из интервальных коэффициентов уравнения для $P_1(s)$ и определители Гурвица:

$$\begin{array}{ccc}
 (T_{\Sigma} + K_d * K_c * \tau_0)_{\min} & K_p * K_{c\max} & 0 \\
 T_{x\max} & \left(\frac{1}{K_c} + K_p * \tau_0 + K_d\right)_{\min} & 0 \\
 0 & (T_{\Sigma} + K_d * K_c * \tau_0)_{\min} & K_p * K_{c\max}
 \end{array}$$

С учётом принятых интервалов и $K_p=0,9$; $K_d=0,7$:

$$\begin{aligned}
 \Delta_1 &= (T_{\Sigma} + K_d * K_c * \tau_0)_{\min} = 22,6 > 0 \\
 \Delta_2 &= \left((T_{\Sigma} + K_d * K_c * \tau_0)_{\min} * \left(\frac{1}{K_c} + K_p * \tau_0 + K_d\right)_{\min} \right) - (T_{x\max} * K_p * K_{c\max}) = 22,9 * 14,12 - 114,8 * 0,6 * 0,5 = \\
 & 69 > 0 \\
 \Delta_3 &= \Delta_2 * K_p * K_{c\max} = 122,26 > 0
 \end{aligned}
 \tag{271}$$

Процесс моделирования в среде MATLAB Simulink подтвердил достоверность расчётов для всех типов регуляторов. Например, для П-регулятора с $K_p=0,9$ результат моделирования показан на рисунке 2.

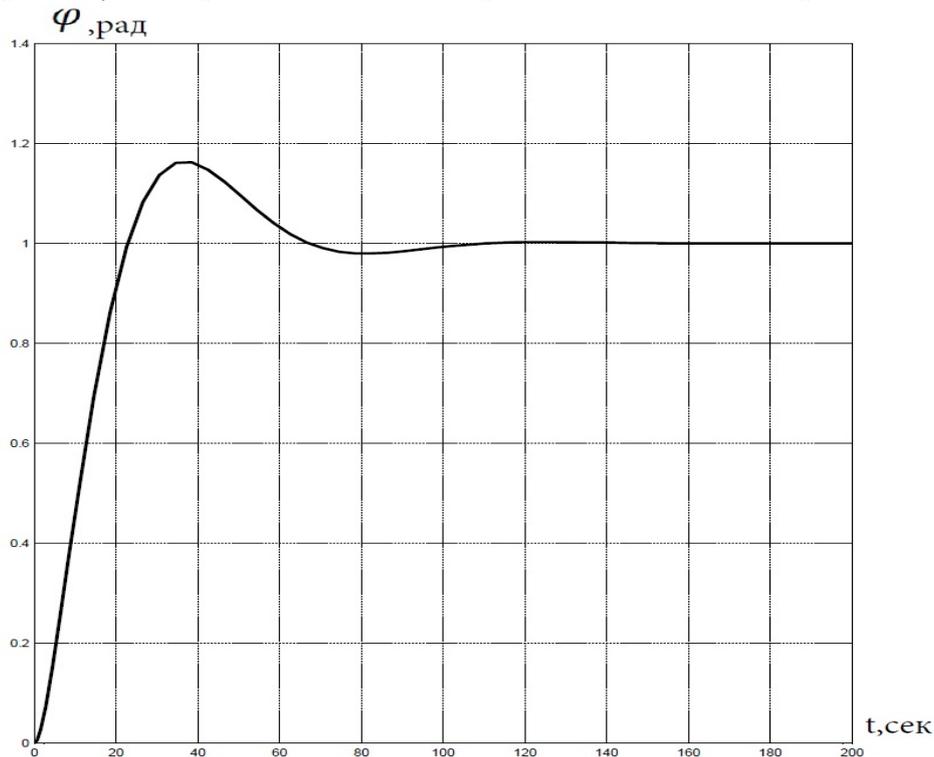


Рис.2. Сигнал на выходе системы при использовании П-регулятора

Полученные результаты применения для расчёта системы с варьируемыми параметрами теоремы Харитонова наглядно продемонстрировали её робастную устойчивость.

Список литературы

1. Лукомский Ю. А. и др. Навигация и управление движением судов: учебник. - СПб. : Элмор, 2002. - 360 с. : ил.
2. Харитонов В. Л. Об асимптотической устойчивости положения равновесия семейства систем линейных дифференциальных уравнений // Дифференциальные уравнения. 1978. № 11. — с.2086–2088.
3. Ким Д. П. Теория автоматического управления. Т. 1. Линейные системы. - М.: ФИЗМАТЛИТ, 2003. - 288 с.

УДК 621.372

*С. Н. Павликов, Е. И. Убанкин, Е. А. Шевцова,
Д. А. Гордиенко, В. Н. Гряник*

ОСОБЕННОСТИ МЕТОДИКИ РЕШЕНИЯ ИЗОБРЕТАТЕЛЬСКИХ ЗАДАЧ В ТЕЛЕКОММУНИКАЦИЯХ

Объект исследования – телекоммуникации. Предмет исследования – проблемы решения изобретательских задач. Цель – разработка методики решения изобретательских задач в области телекоммуникаций. В современных условиях объем информации возрастает так быстро, что коллективы, студентов и исследователей не успевают её обрабатывать, а платные обзорные материалы не всегда доступны по цене и быстро устаревают.

Поэтому актуальными остаются исследования в области создания новых методик по формализации труда, связанного с не типовыми задачами, при решении которых требуется использовать приемы теории решения изобретательских задач (ТРИЗ). Теория ТРИЗ известна давно, методы в интернете зашумлены огромным количеством публикаций. Многие материалы доступны только при предоплате. Рассмотрим основные понятия данной теории. Теории решения изобретательских задач предназначена для поиска приемлемых вариантов решения проблем (именно проблем, а не задач, ибо решение задач возможно уже известными методами, методиками и алгоритмами) в новых условиях и ограничениях. Благодаря трудам Г. С. Альтшуллера и его коллег теория получила широкую известность, но редко кто ею воспользовался. Это связано с большим разнообразием проблем и технологий, используемых при их решении. Поэтому в статье область применения методики ограничена отраслью телекоммуникаций, хотя может быть применена и в более широких направлениях исследований. В ТРИЗ [1] решение творческой задачи изложено в виде четырех этапов:

1. Формирование задачи.
2. Анализ степени решения задачи.
3. Построение теоретической модели.
4. Экспериментальная проверка качества решения.

Содержание этапов отражено в таблицах 1-4.

Таблица 1

Содержание этапа формирования задачи

Содержание	Перечень действий
1.1 Постановка задачи	Описание задачи; Словесная формулировка задачи; Формулировка конечного результата.
1.2 Построение задачи	1.2.1 Стратификация 1.2.2 Композиция 1.2.3 Локализация
1.3 Оценка задачи	1.3.1 Выявление условий 1.3.2 Проверка наличия возможностей и предпосылок 1.3.3 Выяснение степени проблемности, соотношения известного и неизвестного в той информации, которую требуется использовать 1.3.4 Отнесение задачи к определенному типу 1.3.5 Выработка установок на возможность замены вопроса другим, поиск альтернатив для всех вопросов проблемы
1.4 Обоснование задачи	1.4.1 Установление ценностных, содержательных и генетических связей задачи с другими 1.4.2 Приведение доводов в пользу реальности постановки и решения задачи 1.4.4 Выдвижение возражений против задачи
1.5 Обозначение задачи	1.5.1 Определение основных понятий, используемых при решении 1.5.2 Перевод проблемы на иной язык

Второй этап решения задачи раскрыт в таблице 2 [1].

Таблица 2

Содержание этапа содержание степени решения задачи

Содержание этапа	Перечень действий
2.1 Классификация задачи как творческой	Анализ информации на отсутствие аналогичной задачи Признаки классификации Тип задачи
2.2 Оценка информации	Достоверность Ценность Затраты
2.3 Анализ имеющиеся направлений решения задачи	2.3.1 Анализ существующих направлений решения задачи 2.3.2 Анализ перспективных технологий 2.3.3 Обоснование выбора технологий для решения задачи

Третий этап – построение теоретической модели решения задачи приведен в таблице 3 [1,2].

Таблица 3

Содержание этапа построение теоретической модели
решения задачи

Содержание этапа	Перечень действий
3.1 Построение гипотезы	Построение научного предположения; Анализ явлений и эффектов для построения теоретической модели; Определение следствий, вытекающих из предполагаемой причины; Определение условий и ограничений; Словесная формулировка гипотезы; Соответствие гипотезы желаемому результату.
3.2 Построение математической модели	3.2.1 Постановка задачи; 3.2.2 Выбор модели; 3.2.3 Логическое исследование модели

Четвертый этап – экспериментальная проверка качества решения задачи приведен в таблице 4 [2].

Таблица 4

Содержание этапа построение теоретической модели решения задачи

Содержание этапа	Перечень действий
4.1 Формирование методики и проведение экспериментальной проверки решения	Определение входных и выходных данных; Определение ресурсов; Формирование плана экспериментальных исследований; Формирование методики анализа полученных результатов; Апробация результатов.

Таким образом, приведена усовершенствованная методика решение творческой задачи. Перечень проблемных, ключевых, перспективных технологий для построения глобальных и локальных систем радиосвязи включает следующие направления [3]:

- применение узко, широко и сверх широкополосных сигналов, с регулируемой базой, а значит помехоустойчивостью, помехозащищенностью и скрытностью;

- использование пространственных фильтров, в том числе и активных антенных решеток;

- модернизация методов разделения каналов и построение технологий управления многотраекторных систем обмена информацией;

- построение приемников и антенных решеток с малым уровнем собственных и взаимных шумов;

- расширение теории ортогональных информационных пространств;

- создание методов управления базой сигнала;

- построение теории согласованных сигнальных пространств для одновременной работы множеств радиостанций;
- построение методов многоэтапного обратимого преобразования сигналов;
- стандартизация и унификация транспортных протоколов обмена на всех уровнях системы;
- разработка методов управления точностью измерения параметров;
- разработка инвариантных процедур обработки сигналов для условий высокой дисперсии канала;
- разработка методов инструментального зондирования сред для обоснованного выбора технологий радиообмена;
- разработка методов дистанционного оперативного обнаружения опасных явлений для объектов и элементов глобальной системы;
- применение бортового оборудования ИСЗ и космических аппаратов с расширенными возможностями для построения сетей с распределенной обработкой информации;
- совмещение технологий радио и иных диапазонов, форм сигналов, в том числе и неэнергетических;
- построение теории виртуальных коммутаторов траекторного синтеза информационного обмена;
- применение технологий эффективного использования потенциалов полностью связанных и других самонастраивающихся структур сетей;
- разработка технологий проектирования элементов сетей с позиции объект как комплекс пространственных фильтров (антенн);
- разработка методов эффективного использования пространственно-разнесенных интеллектуальных (вычислительных) и иных ресурсов, например энергетических для устойчивого управления и обеспечения функционирования элементов глобальной системы информационного обмена;
- разработка технологий формирования и поддержания функционирования глобальных баз данных на элементах формируемой сети, системы, в том числе и на спутниковых группировках, для эффективного использования;
- разработка технологий межспутниковых линий связи, электромагнитных, оптических и других;
- повышение надежности функционирования за счет адаптации системы информационного обмена в реальных условиях;
- разработка технологий использования пространственно-распределенных, в том числе и случайных антенных решеток в целях повышения качественных параметров разрабатываемой системы под существующие и гипотетические задачи в будущем.

Анализ указанных проблем в области телекоммуникаций позволил уточнить следующие классы международного патентного кода изобретений, которые могут быть использованы для поиска аналогов и прототипов

[4]:

Класс МПК: Н Электричество:

- Н04 - Техника электрической связи;
- Н04В – Передача сигналов;
- Н04L – Передача цифровой информации;
- Н04М – Телефонная связь;
- Н04N – Передача изображений, например телевидение;
- Н04Q – Избирательные устройства.

Класс МПК: G Физика:

- G01 – Измерение; испытание;
- G06 – Обработка данных;
- G08 – Сигнализация;
- G11 – Накопление информации.

В результате выполнения четырех этапов решение творческой задачи определены основные результаты решения творческой задачи в виде: сформированного противоречия, решаемой проблемы, актуальности, гипотезы, объекта, предмета, цели, задач исследования, математической модели, метода, методики исследования, плана эксперимента, методики анализа результатов экспериментальной проверки и апробации, выводы и заключения, рекомендаций по применению.

Список литературы

1. Цветков А.Н. Методы решения творческих задач в менеджменте: учебно-практическое пособие [Текст] / А.Н. Цветков, В.Е. Зарембо. - М.: КНОРУС, 2011. – 152 с.
2. Кузин Ф.А. Диссертация: Методика написания. Правила оформления. Порядок защиты. Практическое пособие для докторантов, аспирантов и магистрантов [Текст]. – М.: «Ось-89», 2000. – 320 с.
3. С.Н. Павликов, С.С. Веселова Ключевые технологии построения глобальной системы радиосвязи нового поколения [Текст]. - Владивосток, Материалы международной НТК «Актуальные проблемы освоения биологических ресурсов Мирового океана» - Владивосток: Дальрыбвтуз, 2010. Часть 1 – С. 362 – 365.
4. Международная классификация изобретений [Электронный ресурс]. <http://www1.fips.ru/wps/portal>

УДК 519.2

С. С. Пашин, Д. А. Бушко

ОБЗОР МЕТОДОВ ПАРАМЕТРИЧЕСКОЙ ИДЕНТИФИКАЦИИ ДИНАМИЧЕСКИХ ОБЪЕКТОВ

Идентификацией называется «определение параметров и структуры математической модели, обеспечивающих наилучшее совпадение выход-

ных координат модели и процесса при одинаковых входных воздействиях» [1].

Отсюда следует, что процедура идентификации распадается на следующие три этапа:

1. Выбор структуры модели на основании имеющейся априорной информации об исследуемом процессе и некоторых эвристических соображений.

2. Выбор критерия близости объекта и модели, основанный на специфике задачи.

3. Определение параметров модели, оптимальных с точки зрения выбранного критерия.

Таким образом, при выбранной структуре модели задача идентификации представляет типичную экстремальную задачу, и для её решения можно с успехом использовать мощный аппарат теории задач такого рода.

Выбор структуры модели определяется априорной информацией об исследуемом процессе, а так же требованиями к точности моделирования и реализуемостью вычислений, ограниченной размерностью задачи.

Большинство динамических объектов, в том числе морские подвижные объекты описываются в виде уравнений в пространстве состояний:

$$\dot{X} = AX + Bu, \quad (1)$$

где X – вектор координат состояний, u – вектор управления, A – матрица системы, B – матрица управления.

Идентификация динамических систем сводится к задаче создания математической модели, адекватной данной динамической системе. Для построения модели объекта требуется обладать достаточной информацией о нём.

На этапе формализации задачи строится математическая модель с использованием законов из предметной области рассматриваемого объекта, неизвестные параметры модели находятся при помощи алгоритмов параметрической идентификации. Для управления такими объектами, как правило, требуется получение адекватной математической модели, представленной в параметрическом виде:

$$\dot{\hat{X}}_m = \hat{A} \hat{X}_m + \hat{B} u, \quad (2)$$

где \hat{A}, \hat{B} – оценки значений матриц A, B . \hat{X}_m – координаты состояния идентификационной модели.

Все известные методы параметрической идентификации нелинейных систем можно условно разделить на следующие группы:

– методы определения параметров систем без учета стохастической составляющей, которые не используют статические методы обработки результатов эксперимента [3];

– методы идентификации, учитывающие стохастическую составляющую и использующие анализ временных рядов, методы спектрального и корреляционного анализа – применяются при решении задач параметрической идентификации [4];

– методы нелинейного среднеквадратичного оценивания, сводящиеся к поиску минимума функции нескольких переменных (например, градиентный метод или метод Ньютона), решению систем нелинейных уравнений (методы Ньютона-Гаусса и Левенберга-Марквардта) или линеаризация модели по параметрам.

Первые две группы методов являются классическими, т.к. используют линейные методы и применяются для идентификации систем, описываемых линейными дифференциальными уравнениями. В работе [2] приводятся и анализируются различные методы параметрической идентификации, использующие методы скоростного градиента. Рассмотрим алгоритмы идентификации на скользящих режимах, для объекта управления (1), выберем настраиваемую модель:

$$\dot{X}_m = \hat{A} X_m + \hat{B} u + v, \quad (3)$$

где матрицы \hat{A} и \hat{B} необходимо определить по наблюдаемым векторам состояния X_m и управления u ; v - дополнительный сигнал, введение которого обеспечивает скользящий режим на многообразии $s = 0$, где $s = X - X_m$. Алгоритм настройки матриц \hat{A} и \hat{B} построим на основе схемы скоростного градиента, задавая цель управления $Q_t \rightarrow 0$, где $Q = \frac{1}{2} s^T s$. Тогда:

$$\dot{Q} = s^T [(A - \hat{A})X + (B - \hat{B})u - v], \quad (4)$$

выбирая в качестве настраиваемых параметров вектор $\text{col}(\hat{A}, \hat{B}, v)$, придем к конечно-дифференциальному алгоритму идентификации на скользящих режимах:

$$\frac{d\hat{A}}{dt} = -\gamma s X^T, \quad \frac{d\hat{B}}{dt} = -\gamma s u^T, \quad v = -\gamma \text{sign} s. \quad (5)$$

Если на многообразии $s = 0$ возникает скользящий режим, то компоненты матриц \hat{A} и \hat{B} стремятся к компонентам матриц A и B , тем самым происходит идентификация параметров исследуемой системы

В связи с тем, что существует достаточно большое количество алгоритмов параметрической идентификации, возникает вопрос выбора конкретного алгоритма, для морских подвижных объектов, учитывающего специфику его функционирования.

Список литературы

1. Дейч А. М. Методы идентификации динамических объектов. – М.: Энергия, 1979. – 240 с., ил.
2. Фрадков А. Л. Адаптивное управление в сложных системах: беспоисковые методы. – М.: Наука. Гл. ред. Физ.-мат. Лит., 1990. – 296 с.
3. Пановко Я. Г. Введение в теорию механических колебаний. М: Наука. 1991. 256с.
4. Добрынин С. А., Фельдман М. С., Фирсов Г. И. Методы автоматизированного исследования вибрации машин: Справочник. М: Машиностроение, 1987, 224 с.

УДК 621.372

Ю. С. Рынгачев, С. Н. Павликов

РАДИОЭЛЕКТРОННОЕ УСТРОЙСТВО СПАСАТЕЛЬНОГО ЖИЛЕТА

Проблема. Спасение человеческой жизни на море одна из проблем современности. Аварийность на флоте растет, количество смертных случаев увеличивается. Среди средств обеспечения безопасности наибольшую значимость приобретает индивидуальные устройства, а это только спасательный жилет, который оснащен проблесковым маяком, дальность обнаружения которого колеблется в пределах нескольких км. Время поиска человека велико. Находиться долго в холодной воде, при температуре 4-6 градусов, человек сможет не более 10 минут. Через 6-8 минут у него уже начинается переохлаждение организма. Не всегда, найдя человека, его удастся спасти. Цель проекта: сократить время поиска человека оказавшегося за бортом. Решение. Решение проблемы возможно путем разработки нового индивидуального устройства, обеспечивающего сокращение времени поиска человека оказавшегося за бортом. В связи с развитием технологий, возникла возможность разработки малогабаритного персонального радиолокационного ответчика (РЛО) [1,2]. Он должен обеспечивать определение местоположения объектов, терпящих бедствие, путем передачи сигналов, которые на экранах радиолокационных станций будут представлены серией точек, расположенных на равном расстоянии друг от друга. Дальность действия увеличена до 14-15 км. Вызов бедствия, по умолчанию адресуется всем судам и будет получен всеми соответственно оборудованными судами и береговыми станциями в пределах диапазона распространения используемой радиочастоты. Сигнал бедствия содержит информацию, которая отображается на станции, принявшей вызов. Информация автоматически включается в переданное устройство вызов бедствия. Включается автоматически при попадании в батарею воды и в ручную. После активации остается в режиме ожидания на протяжении 96-ти часов и 8 часов в режиме передачи. Устройство представляет собой приемо-передатчик СВЧ, отвечающий на запросы

судовых и самолетных РЛС трехсантиметрового диапазона длин волн сигналом, перестраиваемым по частоте.

Идентификация объекта. Сигнал, излучаемый ответчиком, может представлять собой кодовую посылку для идентификации. Идентификация может быть как уникальной для каждого объекта, так и определять принадлежность к определённой группе, судну.

РЛО оборудован световой индикацией – светодиод синего цвета: если ответчик реагирует на радар, индикатор, расположенный у основания РЛО, начинает светиться непрерывным синим светом.

Продолжительность работы РЛО:

- дежурный режим – 96 часов;
- режим активного ответа – 8 часов.

Отличительные особенности РЛО – миниатюрность и малое энергопотребление, позволяющее осуществить постоянную готовность изделия в течение 10 лет без замены элементов питания. Дальность действия повышается. Помещается в спасательный жилет (в рюкзак, одежду и др.), но при необходимости можно быть надет на руку. Идентификация объекта по индивидуальному номеру, записанному через программатор в технологическом режиме при выдаче человеку при посадке на борт. Структурная схема устройства РЛО в отличие от прототипа [3,4], являющегося аварийным радиомаяком члена экипажа судна приведена на рисунке 1.

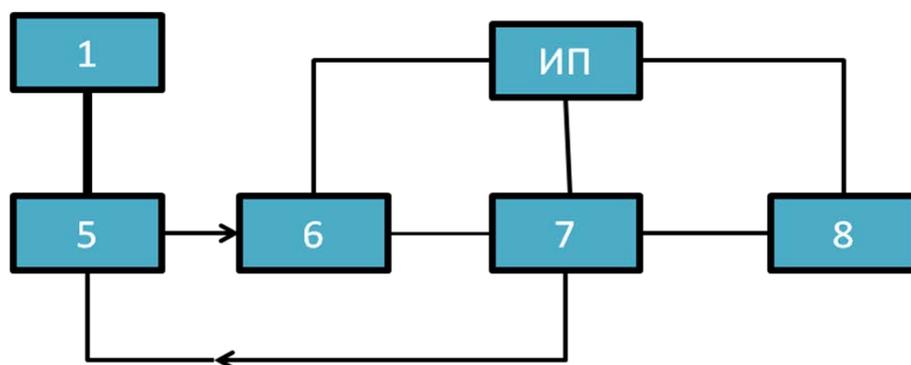


Рис. 1. Структурная схема устройства РЛО

Условные обозначения на рисунке 1:

- 1 – антенна;
- 5 – устройство коммутации входного и излучаемого сигналов;
- 6 – усилитель;
- 7 – устройство формирования ответного сигнала;
- 8 – программатор.

Конкурентные преимущества приведены в таблице 1.

Конкурентные преимущества

Особенности	Преимущества	Выгода
Наличие РЛО у каждого члена экипажа и пассажиров	Увеличивается комфортность человека, знающего, что он оснащен индивидуальным средством поиска и спасения.	Обеспечивается дальнейшее обнаружение человека с борта воздушного и др. судов
		Сокращается время поиска в 2-3 раза
		Увеличивается количество выживших, за счет своевременного оказания помощи
Наличие инфракрасного излучателя	При незначительном увеличении потребляемой мощности, обеспечивается контрастное обнаружение человека в море	Обеспечивается дальнейшее обнаружение человека с борта воздушного и др. судов
		Сокращается время поиска в 2-3 раза
		Увеличивается количество выживших, за счет своевременного оказания помощи
Устройство не требует дополнительного технического обслуживания и может быть дооснащено самостоятельно пользователем	В инструкцию по использованию добавляются только рекомендации по включению РЛО и(или) инфракрасного датчика	Сокращаются расходы ресурсов на проведение спасательной операции

Предложены следующие методы продвижения:

- работа с судоходными компаниями;
- индивидуальные прямые продажи;
- продажи лицензии на интеллектуальную собственность.

Рынок и потребители:

- тысячи рыбаков, моряков и пассажиров воздушных, морских и речных судов, туристы, альпинисты, родители детей, отдыхающих в лагерях, и др.
- комфортность работы в море увеличится, когда сотрудники будут уверены, что индивидуальные средства поиска усиливают их безопасность.

Таким образом, предложенное техническое решение имеет ряд преимуществ:

1. Низкая стоимость и расширенность функциональных возможностей решает главную задачу путем сокращения времени поиска человека, оказавшегося в беде.

2. Реализация данного проекта по программе УМНИК позволит выбрать оптимальный вариант решения, отработать технологию производства и снизить финансовые риски.

Предложенное техническое решение соответствует технической и экономической эффективности.

Список литературы

1. Радиолокационный спасательный ответчик SAR-9 [Электронный ресурс] <http://seacomm.ru/upload/iblock/626/>.

2. Радиолокационный ответчик [Электронный ресурс] http://cirspb.ru/information/st_sart.

3. С.Н. Павликов, С.С. Веселова Ключевые технологии построения глобальной системы радиосвязи нового поколения [Текст]. - Владивосток, Материалы международной НТК «Актуальные проблемы освоения биологических ресурсов Мирового океана» - Владивосток: Дальрыбвтуз, 2010. Часть 1 – С. 362 - 365

4. Патент №112445 РФ, МКП G 01 S 15 /00. Аварийный радиомаяк.

УДК 621.372

А. К. Стволовая, С. Н. Павликов

РАЗРАБОТКА ТЕХНОЛОГИИ КВАДРАТУРНОЙ ОБРАБОТКИ В СИСТЕМАХ СВЯЗИ

Объектом исследования является система передачи и приема информации. Предметом исследования – технология квадратурной обработки в системах связи. Цель выполнения НИР – повышение помехоустойчивости за счет использования усовершенствованного метода модуляции сигнала путем улучшенной квадратурной обработки в перспективных системах связи с широкополосными сигналами. Назначение научно-технического продукта – применения во всех телекоммуникационных системах для повышения их эффективности. Результат достигается за счет улучшенной квадратурной обработки в существующих и перспективных системах телекоммуникаций. Потребители: производители телекоммуникационного оборудования и пользователи систем связи с улучшенными характеристиками. Научная новизна подтверждена в ходе патентного поиска по базе данных (БД) Роспатента при котором не выявлены изобретения с совпадающими признаками и полученным результатом. Проведение НИР необходимо для исследования зарубежных баз данных патентов: для анализа, выбора линейки научно – технических решений, обоснование оптимального варианта и апробации. Проведение научных публикаций и апробации результатов в отраслевых организациях и мероприятиях. Новый подход позволяет квадратурную обработку проводить точно в широком диапазоне частот. Техническое решение будет реализовано в аппаратно – программ-

ном варианте: на базе интегральной микросхемы мобильного телефона. Программное обеспечение потребует: разработки, тестирования, согласования с производителем, защиты интеллектуальной собственности и внедрения. Результатом научного творчества является метод квадратурной обработки сигналов с одинаковым синфазным сдвигом в широкой полосе частот.

Основные технические параметры, определяющие характеристики продукции: сокращение вычислительных затрат более 1.4 раза, при сохранении требований по электропитанию и габаритам.

При переходе к более широкополосным сигналам помехоустойчивость возрастает пропорционально \sqrt{F} , что особенно актуально при увеличении суммарного уровня помех.

Техническое решение реализуется аппаратно-программным путем, не требует увеличения габаритных и энергетических затрат. Снижение вычислительных затрат позволит использовать высвобождаемые ресурсы для расширения: каналов и функций.

Конструктивные требования. Поиск оптимального варианта построения алгоритма модуляции. Рассмотрим несколько способов УМ, используя известное выражение (1)

$$A \sin[\omega t + \varphi(t) + \varphi_0], \quad (1)$$

$$\sum_{i=1}^N A(t) * \sin(\omega t) = B \sin[\omega t + \varphi_1(t)], \quad (2)$$

где ωt – первичная фаза;

$\varphi(t)$ – фазовый сдвиг;

φ_0 – начальная фаза.

В соответствии с этим выражением к первичной фазе, путем математических операций может быть добавлен дополнительный фазовый сдвиг, формируемый по закону передаваемого сообщения. Воспользуемся известными выражениями для составных аргументов:

$$\sin[\omega t + \varphi_2(t)] = \sin \omega t * \cos \varphi_2(t) + \cos \varphi_2(t) * \sin \omega t \quad (3)$$

$$\sin[\omega t - \varphi_3(t)] = \sin \omega t * \cos \varphi_3(t) - \cos \varphi_3(t) * \sin \omega t \quad (4)$$

$$\cos[\varphi_4(t) + \omega t] = \cos \omega t * \cos \varphi_4(t) + \sin \omega t * \sin \varphi_4(t) \quad (5)$$

$$\cos[\varphi_5(t) - \omega t] = \cos \omega t * \cos \varphi_5(t) - \sin \omega t * \sin \varphi_5(t) \quad (6)$$

Для сигнала с большой базой предлагается использовать преобразование Гильберта, которое требует значительных вычислительных затрат, поэтому применяются следующие технические решения, одно из которых приведено на рисунке 1.

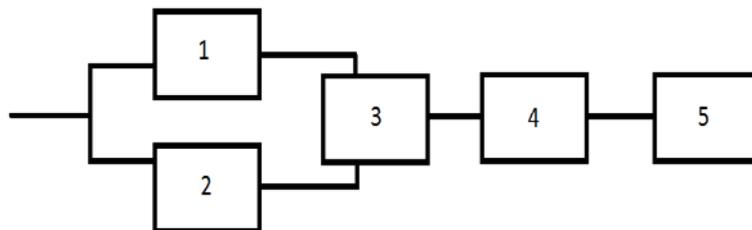


Рис. 1. Структурная схема первого устройства сдвига фазы сигнала на 90^0
 (1 – дифференциатор; 2 – интегратор; 3 – умножитель;
 4 - блок извлечения корня; 5 - программируемое запоминающее устройство)

Рассматриваемое устройство работает следующим образом. Сигнал $\sin[\omega t]$, подается на вход устройства, и далее одновременно на входы дифференциатора 1 и интегратора 2, где после преобразования поступает на первый вход умножителя 3. Сигнал после преобразования в интеграторе 2 поступает на второй вход умножителя 3. После перемножения полученный сигнал поступает на вход блока извлечения корня 4. Напряжение, соответствующее $\cos[\omega t]$ с выход блока извлечения корня 4 поступает в программируемое запоминающее устройство (ПЗУ) 5[3].

Второе техническое решение по сдвигу фазы сигнала на 90^0 приведено на рисунке 2.

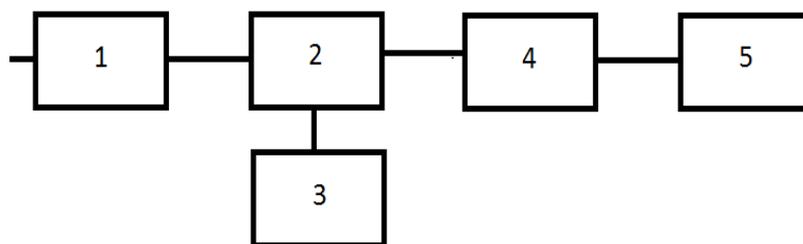


Рис. 2. Структурная схема второго устройства сдвига фазы сигнала на 90^0
 (1 – квадрат; 2 – блок разности; 3 - блок единичного напряжения; 4 – блок извлечения корня квадратного; 5 - ПЗУ)

Сигнал $\sin[\omega t]$ подается на вход блока 1, где возводится в квадрат, затем поступает на первый вход блока разности 2, на второй вход которого с блока 3 поступает единичное напряжение, выходное напряжение блока 2 поступает на вход блока извлечения корня квадратного 4 и далее в ПЗУ.

Во всех современных системах используется квадратурная обработка. Информационные технологии развиваются с увеличением ширины спектра. При этом фазосдвигающая цепочка уже не может адекватно отразить это преобразование для широкополосного сигнала.

Преобразователь Гильберта физически не реализован, поэтому предложен алгоритм квадратурной обработки с многократным уменьшением вычислительных затрат для широкополосного сигнала.

Техническая значимость продукции. В аппаратуре таких видов вычислительных затрат очень много так как каждый канал включает несколько этапов преобразований, а количество каналов достигает десятков, сотен и более. Поэтому проблема снижения вычислительных ресурсов актуальна. Для сравнения вычислительной сложности рассмотренных алгоритмов воспользуемся методикой приведенной в [1] и примем следующие условные единицы затрат вычислительных ресурсов по операциям:

$$\langle\langle + \rangle\rangle - 5; \langle\langle - \rangle\rangle - 5; \langle\langle * \rangle\rangle - 10; \langle\langle u^2 \rangle\rangle - 15; \langle\langle : \rangle\rangle - 10; \langle\langle \frac{du}{dt} \rangle\rangle - 20$$

$$\langle\langle \int du \rangle\rangle - 20; \langle\langle \sqrt{} \rangle\rangle - 15; 3У - 20; \langle\langle 1 \rangle\rangle - 5$$

Для реализации первого устройства потребуется 85 условных операций, а для второго – 60. Сравнение по данному критерию позволяет выбрать второе устройство.

Используя данную методику приведены результаты сравнения методов модуляции, реализующие выражения (1) – (5): первый метод дает уменьшение в 1,12 раза, а второй метод – в 1,42 раза.

Требования по патентной защите. Возможны два варианта защиты интеллектуальной собственности:

«Зонтиковый патент» закрывающий все направления. Характеризуется повышенными затратами, но в будущем обеспечит высокую конкурентоспособность.

Проведение НИР испытания опытной партии позволит выбрать один или два оптимальных варианта и защитить их в методе, устройстве и программном продукте. Недостаток второго варианта состоит в сохранении лазеек в течение некоторого времени для конкурентов. Существенные признаки приведены в предыдущем разделе.

Поэтому предполагается защита одного программного продукта (6 месяцев), подача патента на метод (1 год) и защита найденных оптимальных вариантов на втором году реализации проекта.

Область применения. Область науки и техники, телекоммуникации, обработка и защита информации, системы, оборудование и компоненты – идентификационный код для описания объекта 45.1. Объем внебюджетных инвестиций. Снижение вычислительных затрат эквивалентно снижению стоимости оборудования. Если процедура квадратурной обработки составляет от 2 до 5 % стоимости изделия, то выигрыш составит 2,5%. Если принять стоимость мобильного телефона четвертого поколения около 10 000, то выигрыш составит более 2,5 тысяч рублей. Дополнительное финансирование потребуется на втором году реализации проекта и составит сумму соизмеримую с размером фонда УМНИК.

План реализации

1. Первый год поквартально:

1.1. Оформление проекта и технического задания. Анализ технических решений выбор технологий для реализации проекта

1.2. Обоснование выбора архитектуры и программно – аппарат-

ных средств. Заказ необходимых компонентов и программы для ЭВМ

1.3. Расчет технических и эксплуатационных параметров

1.4. Защита интеллектуальной собственности

2. Второй год:

2.1. Оценка стоимости изменений в элементах системы. Согласование предлагаемых технических решений с производителем оборудования. Заказ опытной партии.

2.2. Разработка и согласование плана эксперимента

2.3. Тестирование оборудования, корректура технического задания и программно – аппаратных решений. Опытная эксплуатация технического решения

2.4. Анализ полученных результатов. Отчет проекта. Корректура технического решения. Задание технической документации и разработка плана внедрения.

Имеющиеся аналоги описаны в [2,3].

Сравнивая предложенное техническое решение с известными техническими решениями [2,3] можно сделать выводы:

- количество вычислительных затрат значительно уменьшено;
- повышена помехоустойчивости за счет использования усовершенствованного метода модуляции сигнала путем улучшенной квадратурной обработки в перспективных системах связи с широкополосными сигналами.

Общим является то, что используются математические методы регуляции фазы колебаний, обладающие высокой точностью выполняемых операций и инвариантностью к изменению частоты входного сигнала.

Список литературы

1. Веселова С.С., Павликов С.Н. Методика оценки эффективности методов управления мобильными радиосетями//Вестник морского государственного университета. Сер. Автоматическое управление, математическое моделирование и информационные технологии. – Владивосток: Мор. гос. ун-т, 2011. Вып.45. С.3 – 13.

2. Патент РФ № 2300837 Способ фазовой модуляции колебаний.

3. Патент РФ № 2300837 Способ и устройство для угловой модуляции сигнала.

УДК 681.51

Н. А. Чижиков

ЗАДАЧИ ИДЕНТИФИКАЦИИ ДИНАМИЧЕСКИХ СИСТЕМ НА ОСНОВЕ НЕЙРОННЫХ СЕТЕЙ

Математические модели, описывающие *линейные* динамические системы, легки в построении, так как они представлены линейными функциями и, следовательно, требуют простейших вычислений для точного пред-

сказания поведения данных систем. Однако, когда дело доходит до прогнозирования поведения *нелинейных* систем с помощью математического моделирования, сложности вычислений, большое количество параметров (в том числе неизвестных) и, на первый взгляд, случайное поведение рассматриваемой системы препятствуют созданию общей системы построения моделей. Еще совсем недавно каждая нелинейная система требовала отдельного изучения и построенная под данную систему модель не могла использоваться для других систем. С развитием новых методов по стабилизации параметров и изучении результатов линейных систем, стало возможным описание нелинейных систем с помощью искусственных нейронных сетей [1,2].

Искусственные нейронные сети (ИНС) осуществляют преобразование вектора входных сигналов (воздействий) X в вектор выходных сигналов Y . Интерпретация векторов X и Y зависит от постановки решаемой задачи и предметной области. ИНС является формой математической модели, имитирующей биологические нейронные сети. ИНС были впервые созданы для изучения процессов, протекающих в мозге, а следовательно, хорошо подходят для нелинейных систем, которые так же сложно предсказуемы как реакции мозга.

Существует много классов нейронных сетей, но к основным можно отнести два из них: многослойная сеть и рекуррентная сеть. Первый часто используется при решении задач распознавания структур, второй для изучения динамики. На рисунке 1 изображена многослойная сеть с двумя скрытыми слоями, а также упрощенная блок-схема данной сети, где $u = (u_1, u_2, \dots, u_n)$ – вводные данные; W^i – весовая матрица; Γ – нелинейный оператор, состоящий из повторяющихся элементов γ ; $y = (y_1, y_2, \dots, y_m)$ – выходные данные. Полностью сеть может быть представлена в виде следующей последовательности: $y = \Gamma [W^3 \Gamma [W^2 \Gamma [W^1 u]]]$. Присутствие матриц W^i позволяет контролировать допустимую ошибку (разницу между ожидаемым и фактическим результатом). При моделировании нелинейной системы элементы весовых матриц становятся параметрами системы. В отличие от предыдущей сети, рекуррентная часто имеет лишь один слой (а следовательно только одну весовую матрицу), при этом ее особенность вовсе не в этом. В рекуррентной сети выходные данные $x = (x_1(k+1), x_2(k+1), \dots, x_n(k+1))$ являются входными данными для следующей итерации, а также присутствует временная задержка - z^{-1} (Рис.2). Сеть можно описать так: $x(k+1) = N[x(k)]$. От начального значения $x(0) = x_0$ зависит, к какому результату, в конечном итоге, придет модель $N[]$ (эквilibриум). Множество значений x_0 , ведущих к одному и тому же результату (эквilibриуму), отождествляются с этим результатом.

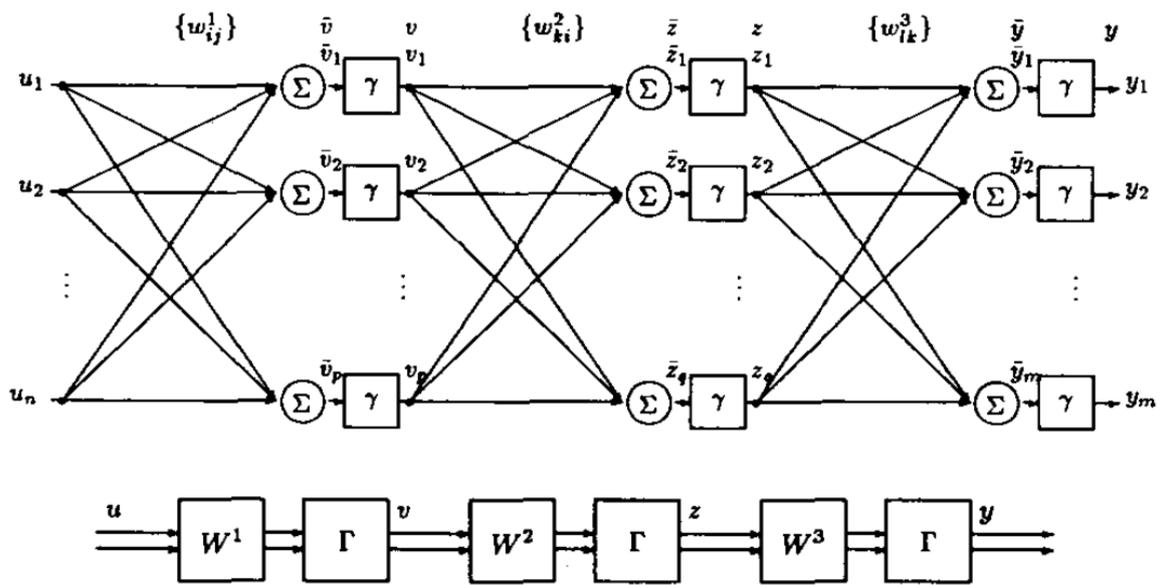


Рис. 1. Многослойная нейронная сеть

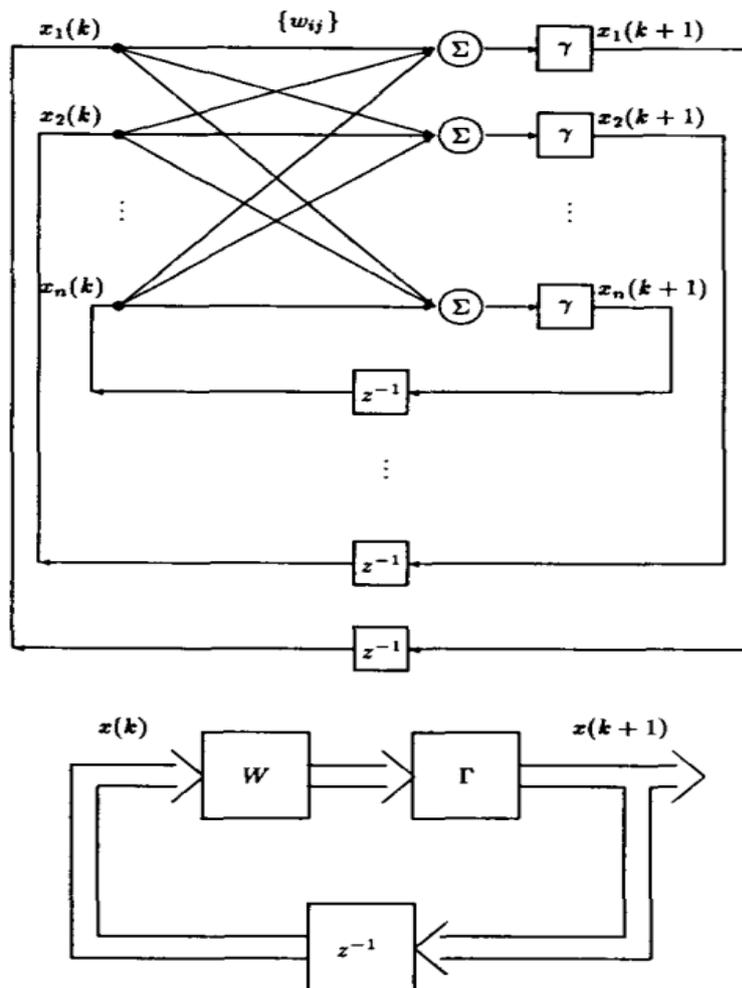


Рис. 2. Рекуррентная нейронная сеть

При объединении обоих типов сетей мы получим блоки (рис.3), из которых в дальнейшем возможно построение моделей, приближенных к динамическим. Нейронные сети хорошо подходят для описания динамических систем, а также могут быть обучены с помощью метода обратного распространения ошибки для установления точных нелинейных параметров и минимизации погрешности (погрешность – разница между фактическим выходным вектором y и ожидаемым выходным вектором y_d). Вышесказанное делает ИНС хорошим кандидатом на роль по идентификации и управлению динамических систем.

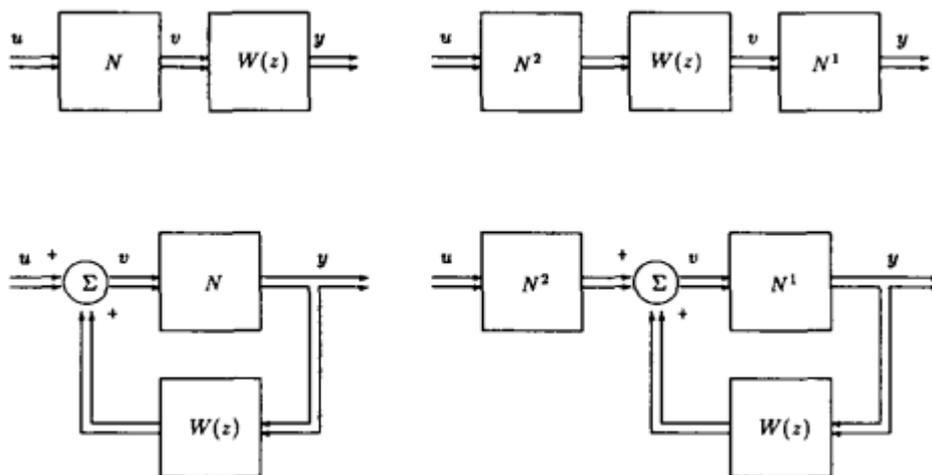


Рис. 3. Блоки нейронных сетей

В целом, процесс идентификации включает в себя: имитацию работы динамической системы нейронной сетью, подсчет разницы в результатах работы обеих систем, минимизацию данной разницы методом обратного распространения ошибки (рис.4). Здесь $u(k)$ – входные данные, $y_p(k)$ – выходные данные динамической системы, $\hat{y}_p(k)$ – выходные данные идентификационной нейронной сети, $e_i(k)$ – разность между двумя наборами выходных данных.



Рис. 4. Упрощенная модель идентификации

Нелинейные динамические системы используют результаты предыдущих итерации в последующих, это является основанием для существования двух типов идентификационных моделей:

– *Параллельная модель* – при имитации, нейронная сеть использует результаты своих же предыдущих итераций. Например, если система имеет форму

$$y_p(k+1) = a_0 y_p(k) + a_1 y_p(k-1) + f(u(k)),$$

то нейронная сеть примет форму

$$\hat{y}_p(k+1) = \hat{a}_0 \hat{y}_p(k) + \hat{a}_1 \hat{y}_p(k-1) + N(u(k))$$

– *Последовательно-параллельная модель* – при имитации нейронная сеть использует результаты итераций динамической системы. Например: система имеет такую же форму, как и в параллельной модели, но нейронная сеть примет форму

$$\hat{y}_p(k+1) = \hat{a}_0 y_p(k) + \hat{a}_1 y_p(k-1) + N(u(k))$$

Таким образом, нейронные сети обладают широкими возможностями в сравнении с традиционными подходами р [3] для решения разнообразных задач идентификации динамических систем.

Список литературы

5. Narendra K.S., Parthasarathy K. (1990) Identification and control of dynamical systems using neural networks // IEEE Identification and Control of Dynamical System, Vol.1. № 1.
6. Behera L., Gopal M. (1994) Adaptive manipulator trajectory control using neural networks // Int. J. Systems SCI., Vol. 25, №. 8, pp.1249-1265.
7. Фрадков А. Л. Адаптивное управление в сложных системах: беспоисковые методы. — М.: Наука. Гл. ред. физ.-мат. лит. 1990. – 296 с.

УДК681.51.001.51

А. В. Шевцов

НЕКОТОРЫЕ ЗАМЕЧАНИЯ ПО ВЫБОРУ СТАНДАРТНЫХ ВЕРОЯТНОСТНЫХ МЕР В ЗАДАЧЕ ОБНАРУЖЕНИЯ ЦЕЛИ

При моделировании сложных систем в процессе их функционирования или их подсистем управления и контроля и протекающих в них процессов практически всегда, хотя бы в ряде задач, требуется привлечение математического аппарата теории вероятностей или её приложений. И в процессе разработки и построения, и, тем более, при проведении имитационного моделирования возникает множество ситуаций, когда необходимо моделировать случайные события или поля, использовать те или иные

функции распределения случайных величин привлекать к рассмотрению другие их вероятностные характеристики.

Так в моделях теории обслуживания время между прибытием требования и его обслуживанием часто является случайной величиной. В моделях управления запасами или распределения ресурсов значения уровней запасов и спроса или распределяемых и потребных ресурсов могут быть стохастическими. В моделях надёжности время отказов обычно распределено случайным образом.

Независимо от того, используется ли для реализации поставленной цели какой-либо стандартный прикладной математический пакет или создаётся специальная программа, необходимо принять подходящую вероятностную модель и *выбрать наиболее адекватные* задаче вероятностные меры и характеристики (определить теоретическое распределение вероятности, осуществить постановку модели случайного процесса) [1].

В предлагаемой работе рассматриваются некоторые аспекты такого выбора на примере *задачи обнаружения*, встречающейся при моделировании систем управления и контроля, надёжности, обеспечения противодействия преднамеренным помехам и т. п. [2], [3].

В рамках этой задачи, в достаточно общем случае предполагается существование некоторой «следающей» системы, предназначенной обнаруживать и, в общем случае, идентифицировать заданный ряд объектов, например, сканируя при этом с помощью различных телеметрических устройств выделенную область суши, моря или воздушного пространства

Отвлекаясь от всех прочих аспектов этой задачи остановимся лишь на одной, но весьма важной характеристике отслеживаемых объектов – моменте обнаружения. Во многих практических прикладных задачах интерес представляют прямо противоположные цели: как можно более длительное время «необнаружения» (в идеале – вообще «необнаружение») объекта и наоборот – как можно более быстрый захват цели.

И в том и в другом случае удобно ввести в рассмотрение непрерывную неотрицательную случайную величину τ , имеющую смысл *длительности необнаружения*. Стандартное вероятностное описание этой, как и любой другой, случайной величины задаётся либо функцией распределения $F(t)$:

$$F(t) \equiv P\{\tau \leq t\}, t \geq 0; F(0) = 0; F(\infty) = 1 - \quad (1)$$

то есть функцией, задающей вероятность обнаружения в интервале времени $[0, t]$, либо плотностью распределения $f(t)$, если она существует. Так как общеизвестно, что

$$f(t) = \frac{dF}{dt}; F(t) = \int_0^t f(s)ds; \int_0^{\infty} f(t)dt = 1; f(t) \equiv 0 \text{ при } t < 0 \quad (2)$$

то оба описания эквивалентны.

Но возможно введение других вероятностных характеристик рассматриваемой случайной величины, более удобных в контексте данной задачи и по степени отражения вероятностной её составляющей фактически эквивалентным вышеприведённым, так как связаны с ними аналитическими соотношениями [3].

Прежде всего, это так называемая *функция скрытности* $\Phi(t)$ в других случаях носящая название *функции длительности жизни* или *функции надёжности*, которая задаёт вероятность необнаружения объекта до момента времени t :

$$\Phi(t) = P\{\tau > t\} = 1 - F(t) = \int_t^{\infty} f(s)ds; \text{ т. е. } f(t) = -\frac{d\Phi}{dt}. \quad (3)$$

В том же контексте хороша также так называемая *функция риска* $\varphi(t)$, именуемая также *интенсивностью «смерти»* (*интенсивностью отказов* в задачах теории надёжности), а в данном случае её удобно назвать *опасностью обнаружения*, так как она задаётся вероятностью обнаружения в единицу времени:

$$\varphi(t) = \lim_{\Delta t \rightarrow 0} \frac{P\{t < \tau \leq t + \Delta t / \tau > t\}}{\Delta t}, \quad (4)$$

где в числителе стоит условная вероятность обнаружения в интервале $(t; t + \Delta t)$ при условии, что до момента t обнаружение не произошло. Так как

$P(A/B) = P(A \cap B) / P(B)$ и $\{t < \tau \leq t + \Delta t\} \cap \{\tau > t\} \equiv \{t < \tau \leq t + \Delta t\}$, то

$$\varphi(t) = \lim_{\Delta t \rightarrow 0} \frac{P\{t < \tau \leq t + \Delta t\}}{\Delta t \cdot P\{\tau > t\}} = \frac{f(t)}{\Phi(t)} = \frac{f(t)}{1 - F(t)} = -\frac{\Phi'(t)}{\Phi(t)} = -\frac{d}{dt} \{\log \Phi(t)\}, \quad (5)$$

при начальном условии $\Phi(0) = 1 - F(0) = 1$.

Интегрируя, получаем $\log \Phi(t) = -\int_0^t \varphi(s)ds$, что при натуральных логарифмах даёт

$$\Phi(t) = \exp \left\{ -\int_0^t \varphi(s)ds \right\} = \exp \{-H(t)\}, \quad (6)$$

где $H(t) = -\int_0^t \varphi(s)ds = \log \Phi(t)$ – кумулятивная функция риска.

Тогда плотность распределения представима в виде

$$f(t) = -\frac{d}{dt} \left(-\int_0^t \varphi(s)ds \right) \cdot \exp \left\{ -\int_0^t \varphi(s)ds \right\} = \varphi(t) \cdot \exp \left\{ -\int_0^t \varphi(s)ds \right\}. \quad (7)$$

Всё изложенное соответствует варианту абсолютно непрерывного

распределения случайной величины τ на полупрямой $[0, \infty]$. В дискретный случай, когда задана некоторая константа $h > 0$ $\{0, h, 2h, \dots\}$ требует особого рассмотрения, а точнее корректного применения дискретных аналогов вышеприведённых функций.

В рамках рассматриваемой задачи, практический интерес представляет случай, когда существует положительная вероятность $p_0 > 0$ нулевой длительности обнаружения, т. е. $p_0 = P(\tau > 0)$ – вероятность обнаружения в начальный момент времени, и $P\{\tau \leq t\} = F(t)$ при $t > 0$.

В этом случае весь ранее рассмотренный формализм остаётся справедливым с внесением следующих корректив:

$$F(0) = p_0; \quad \Phi(0) = 1 - p_0, \text{ а из } f(0) = -\left. \frac{d\Phi}{dt} \right|_{t=0} \text{ следует:}$$

$$f(t) = (1 - p_0) \cdot \varphi(t) \cdot \exp \left\{ -\int_0^t \varphi(s) ds \right\}. \quad (8)$$

Вид функции риска (опасности обнаружения) $\varphi(t)$, в общем случае, произвольный, хотя из сути рассматриваемой задачи можно сделать некоторые предположения о характере её поведения. Определённо можно лишь утверждать, что это строго возрастающая функция. Задавая же конкретный вид $\varphi(t)$, можно получать то или иное конкретное распределение рассматриваемой случайной величины.

Рассмотрим некоторые частные случаи.

1. Функция риска (интенсивность смертности) $\varphi(t) \equiv \lambda = \text{const}$. Тогда

$$f(t) = (1 - p_0) \cdot \lambda \cdot \exp \left\{ -\int_0^t \lambda ds \right\} = (1 - p_0) \cdot \lambda e^{-\lambda t} \rightarrow \lambda e^{-\lambda t} \text{ (при } p_0 = 0) - \quad (9)$$

плотность экспоненциального распределения, причём параметр $\lambda = \varphi(t)$ естественно трактовать как *интенсивность обнаружения* – среднее число возможных обнаружений объекта (цели, сбоя, помехи и т. п.). При этом

$$F(t) = 1 - (1 - p_0) \cdot e^{-\lambda t}; \quad \Phi(t) = (1 - p_0) \cdot e^{-\lambda t}, \text{ а при } p_0 = 0 \quad F(t) = 1 - e^{-\lambda t}; \quad \Phi(t) = e^{-\lambda t}.$$

Кумулятивная функция риска $H(t) = -\lambda t$ – среднее число обнаружений за промежуток времени t .

Случайная величина τ , подчиняющаяся этому распределению, обладает свойством *отсутствия последействия*: $P\{\tau > t + s\} = P\{\tau > t\}$. В связи с этим данное распределение является основным в теории скачко-образных марковских процессов.

2. Функция риска $\varphi(t) = (a/b^a)t^{a-1} = a\lambda t^{a-1}$ – степенная функция времени (убывающая или возрастающая в зависимости от значения параметра

формы распределения $a > 0$). Параметр масштаба распределения $\lambda = (1/b^a)$ в ряде случаев называют *характерным временем жизни (необнаружения)*.

Кумулятивная функция риска $H(t) = (t/b)^a = \lambda t^a$. При этом функция выживания (необнаружения) $\Phi(t) = \exp[-(t/b)^a] = \exp(-\lambda t^a)$, что приводит к функции распределения вероятностей $F(t) = 1 - \exp[-(t/b)^a] = 1 - \exp(-\lambda t^a)$ – распределение *Вейбула*, которое часто используется в теории надёжности для описания времени безотказной работы элементов системы, а также в схожих по математической постановке задачах.

Следует также отметить, что выбор значений параметра масштаба a существенно влияет на вид решаемых задач. Так при $a = 1$ распределение Вейбула переходит в вышерассмотренное экспоненциальное распределение, а при $a = 2$ получаем распределение *Рэля-Райса* с функцией распределения $F(t) = (t/b^2)\exp[-t^2/2b^2]$, к которому приводит задача о случайных блужданиях [2].

3. Может представлять также интерес дробно-линейной зависимости функции риска от переменной t^* : $\varphi(t^*) = c(t^*)^{c-1}/(1 - (t^*)^c)$, что имеет смысл лишь при $0 \leq t^* \leq 1$. То есть введённая выше случайная величина $0 \leq \tau < \infty$ должна быть преобразована в безразмерную нормированную случайную величину $\vartheta = \tau/(\tau + 1)$, $0 \leq \vartheta \leq 1$. Однако гораздо больший интерес представляет соотношения не случайных величин, а их вероятностных характеристик: $F(t) = P\{\tau \leq t\} = P\{\vartheta/(1 - \vartheta) \leq t\} = P\{\vartheta \geq t/(t + 1) = t^*\} = 1 - F(t^*)$.

Кумулятивная функция риска $H(t^*) = (t^*/b)^a = \lambda(t^*)^a$, что соответствует функции выживания $\Phi(t^*) = 1 - (t^*)^c$ и функции распределения $F(t^*) = (t^*)^c$, т. е. *степенному* распределению, а для «временной» случайной величины τ : $F(t) = 1 - (t)^{-c}$. Отметим, что степенное распределение встречается в ряде биологических и экономических задач.

Если ввести дополнительное ограничение для случайной величины τ : $t_0 \leq t \leq \infty$, то степенное распределение перейдёт в распределение *Парето*, встречающееся в задачах экономической статистики. В этом случае функция распределения $F(t) = 1 - (t/t_0)^{-c}$; функция выживания $\Phi(t) = (t/t_0)^{-c}$; функция риска $\varphi(t) = c/t$; кумулятивная функция риска $H(t) = c \log t$. В завершении этого последнего примера, число которых можно продолжать, следует обратить внимание на параметр $c \neq 1$, отвечающий за форму распределения: при $c > 0$ это убывающее степенное распределение или распределение Парето, а при $c < 0$ – возрастающее, причём мода этих распределений $m_0 = 1$ при $c > 1$ и $m_0 = 0$ при $c < 1$.

Из приведённых примеров видно, что различные распределения, встречающиеся при описании разнообразных систем (технических, экономических, биологических) получаются при общем подборе вероятностных мер, но при адекватном сопоставлении одной (или нескольких) из них и наиболее важных параметров моделируемой системы.

Список литературы

1. Моделирование и генерация стохастических входных параметров при имитационном моделировании / А. В. Шевцов // Вестник Морского государственного университета. Сер. Автоматическое управление, математическое моделирование и информационные технологии. – Владивосток: Мор. гос. ун-т, 2012. – Вып. 51/2012.
2. Рытов, С. М. Введение в статистическую радиофизику. Ч.1. Случайные процессы [Текст]. – М: Наука, главн. ред. физ.-мат. литер., 1976. – 496 с.
3. Палий, А. И. Радиоэлектронная борьба [Текст].– М.: Воениздат, 1981. – 272 с.
4. Шевцов, А. В. Статистические распределения и статистические таблицы. Справочное пособие [Текст] : учеб. пособие / Шевцов А.В., Коркишко С. В.– Владивосток : Мор. гос. ун-т, 2010. – 77 с.

УДК 621.391.019.3+681.51

А. В. Шевцов

МАТЕМАТИЧЕСКОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ РАДИОЭЛЕКТРОННОГО ПРОТИВОДЕЙСТВИЯ ПРИ СОЗДАНИИ ИМИТАЦИОННОЙ МОДЕЛИ ПРОВЕРКИ ПОМЕХОЗАЩИЩЁННОСТИ РАДИОКАНАЛА

Широкомасштабное применение в телекоммуникационных системах (ТКС) военных и силовых структур средств вычислительной (микропроцессорной) техники обуславливает бурное развитие технологии пакетной передачи информации системами радиосвязи. Системы радиосвязи являются одним из основных каналов утечки информации, поскольку защита информации в них затруднена из-за их протяженности и возможности доступа к передаваемым сигналам за пределами контролируемых зон объектов.

Для обеспечения высокого качества передаваемой информации необходимо решать задачи по противодействию как естественным, так и преднамеренным помехам в каналах связи, исключить несанкционированный доступ к информации и устранять попытки навязывания ложной информации.

Для обеспечения вышеперечисленных требований, при передаче информации, используются различные алгоритмы помехоустойчивого кодирования, шифрования и иммитозащиты [1]. Известно большое множество алгоритмов помехоустойчивого кодирования, из которых на практике наиболее часто используются коды БЧХ, Рида-Соломона, свёрточные и турбокоды.

Применение традиционных методов криптографической защиты позволяет практически полностью исключить возможность прочтения и подмены информации. Однако от применяемых в условиях радиоэлектронной борьбы (РЭБ) преднамеренных прицельных помех, использование которых может полностью парализовать работу ТКС и использующих их

подразделений, не защищает. Лишь в последнее время появились некоторые новые разработки, например, алгоритм Мак-Элис [2], представляющий собой криптосистему с открытым ключом и позволяет повышать как скрытность, так и помехоустойчивость передаваемой информации.

Для примера, рассмотрим систему управления и связи комплекса противовоздушной обороны (далее – ПВО). Очевидно, что он не является “изолированной” вычислительной системой, так как *работает с данными, поступающими извне*, что уже само по себе даёт возможность манипулировать состоянием комплекса, создавая активные помехи, разместив оборудование и сопутствующие системы для этого на борту самолёта радиоэлектронной борьбы (РЭБ). Кроме того, могут также быть известны подробные сведения об устройстве этого комплекса (например, был закуплен образец). В таком случае, на стороне помехопостановщика можно построить математическую модель комплекса, наличие которой позволяет построить некий интерфейс, автоматически подбирающий помехи таким образом, что аппаратура комплекса переходит в заданное оператором помехопостановщика состояние. Тут в качестве «канала управления» служат сигналы помехопостановщика, а в качестве обратной связи – «ответные» сигналы самого комплекса, в том числе внутренние, если их (или их следы) возможно принимать.

В общем случае, в качестве основных объектов, являющихся целью радиоразведки и постановки помех, являются линии связи, а точнее каналы связи, организованные в линии связи аппаратурой частотного или временного уплотнения (первичного каналообразования).

Для оценки возможности эффективного функционирования создаваемой системы радиосвязи, в условиях активного полномасштабного масштабированного воздействия комплексов и средств радиоэлектронной борьбы (РЭБ), одним из приемлемых путей является построение приближённых математических моделей.

Эти модели должны учитывать структуру сообщений, параметры и свойства непрерывного канала, вероятностные характеристики, структуру и интенсивность полезных сигналов и воздействующих помех.

Цель данной работы: разработка методики создания моделей преднамеренных помех сигналам с дискретной модуляцией, которые могут применяться для тестирования моделируемых (проектируемых) радиоканалов в близких к реальным режимам работы.

В рамках этой задачи ранее в [3] была рассмотрена упрощённая, но достаточно общая математическая модель преднамеренной помехи, причём радиоканал в этом варианте рассматривался как *стационарный с независимыми ошибками*, что достаточно для моделирования его работы в условиях наличия преднамеренной помехи (далее – РЭП), а при развитии общей модели системы этот блок может модифицироваться.

В предлагаемой работе рассматривается сходная по принципу действия имитационная модель, предназначенная для радиоподавления сигналов с дискретной модуляцией (т. е. при использовании сигналов с амплитудной

(АТ), частотной (ЧТ) и фазовой (ФТ) манипуляцией). В этой модели первичные сигналы формируются с помощью амплитудно-манипулированной хаотической импульсной последовательности (далее – ХИП АТ) [4]. Показан один из способов её использования для оценки помехоустойчивости приёма фазоманипулированных сигналов в условиях ХИТ АТ помех.

В данной работе рассматривается частный случай подхода к имитационному моделированию помехоустойчивых трактов радиосвязи, то есть трактов радиосвязи, функционирующих в условиях РЭП. При всех рассмотренных моделях постановки помех, радиоканал не моделируется, лишь в некоторой степени имитируется его реакция на воздействие преднамеренной РЭП. В поставленной задаче этого достаточно, а отработанная в данном случае методика воздействия имитационной модели преднамеренной помехи на радиоэлектронные системы, позволит использовать её в дальнейшем при разработке общей модели системы, причём этот блок может легко модифицироваться.

Таким образом, в работе радиоканал характеризуется только средней величиной вероятности ошибки $P_o^{n,n}$. Эта величина вариативна, как и закон распределения ошибок, но здесь задаются априори и являются входными параметрами для модели канала связи в общей модели тракта связи, стандартная структурная схема которого представлена на рис. 1, где ИС – источник сообщений; K_1 и K_2 – кодеры первичного и вторичного кодов; РПДУ – радиопередающее устройство; РПУ – радиоприёмное устройство; ДК₁ и ДК₂ – декодеры первичного и вторичного кодов; ПС – получатель сообщений; ИСП и ИПП – источники случайных и преднамеренных помех.

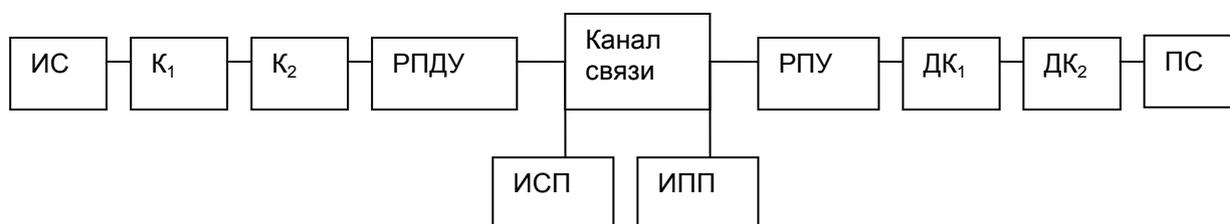


Рис. 1. Структурная схема тракта связи

Предложенные выше две модели преднамеренной помехи (далее – ПП), соответствуют блоку ИПП в общей структуре модели тракта радиосвязи и должны учитывать поиск радиоизлучателя; классификацию и идентификацию входных сигналов; принятие на подавление идентифицированного сигнала и постановку ПП. Вероятность воздействия ПП на j -й элемент сообщения [5]

$$P_{РЭП} = \delta_{РЭП} \cdot P_{обн} \cdot P_n \cdot P_f \cdot P_\alpha \cdot P_{tj}, \quad (1)$$

где

$$\delta_{РЭП} = \begin{cases} 0, & \text{если решение на подавление принято;} \\ 1, & \text{если решение не принято;} \end{cases} \quad (2)$$

– $P_{обн}$ – вероятность обнаружения ПП по энергетическому критерию;

- P_n – вероятность наличия свободных средств РЭП;
- P_f – вероятность совмещения помехи и сигнала по частоте;
- P_α – вероятность попадания сигнала в сектор приёма радиоразведки и помехи в сектор приёма ПС;
- P_{tj} – вероятность совпадения по времени j -го элемента сообщения и ПП.

Все эти величины могут рассчитываться в специальных блоках общей имитационной модели, либо вырабатываться генератором случайных чисел с широким спектром вероятностных распределений [6], либо, наконец, задаваться исследователем с возможностью их вариации в интересующих его пределах. Однако, при оценке потенциальной возможности подавления передаваемых соотношений целесообразно параметры, нерегулируемые со стороны трактов связи, выбрать для наихудшего варианта. В данном случае следует положить

$$P_{\text{обн}} = P_n = P_f = P_\alpha = 1. \quad (3)$$

Величина P_{tj} зависит от длительности части сообщения, предшествующей элементу j , и от закона распределения времени реакции средств РЭП. Закон распределения времени реакции средств РЭП с достаточной точностью можно аппроксимировать гамма-распределением [7], т. е.

$$P_{tj} = \frac{\Gamma\left(\frac{\bar{t}_{\text{РЭП}}^2}{D_{\text{РЭП}}}, \frac{(t_j - \Delta t)t_{\text{РЭП}}}{D_{\text{РЭП}}}\right)}{\Gamma\left(\frac{\bar{t}_{\text{РЭП}}^2}{D_{\text{РЭП}}}\right)}, \quad (4)$$

где $\bar{t}_{\text{РЭП}}$ и $D_{\text{РЭП}}$ – среднее и дисперсия времени реакции средств РЭП; $\Delta t = \min(t_j)$; $\Gamma(\cdot, \cdot)$ и $\Gamma(\cdot)$ – неполная и полная гамма-функции, соответственно.

Таким образом, в первой из рассматриваемых моделей РЭП [3], на основе вырабатываемых значений P_{tj} разыгрывается состояние стохастических ключей ξ_j , определяющих наличие ПП в j -м элементе сообщения на основе соотношения:

$$\xi_j = \begin{cases} 1, & P_{\text{РЭП},j} \leq x_j \leq 1, \\ 0, & 0 \leq x_j \leq P_{\text{РЭП},j}; \end{cases} \quad j = \overline{1, S}, \quad (5)$$

где x_j – равномерно распределённая на $[0, 1]$ случайная величина; S – число кодовых слов в сообщении.

Полученные значения стохастических ключей с выхода модели РЭП подаются на вход блока модели декодера вторичного кода. Воздействие этих ключей включает в модели канала работу блока противодействия ПП.

Имитационная модель этого блока очень хорошо может быть представлена в рамках предложенной в [8] схемы обнаружения несанкционированного вторжения в радиоканал. Каждая единица в массиве нулей и единиц от ключа (5), соответствующем некоторому сообщению, даёт не-

большое фиксированное (в более общем случае, можно задавать и распределением) приращение амплитуды сигнала, представляющего это сообщение. Срабатывает некий счётчик-накопитель, который позволяет определить усреднённое за некоторое время (период «сканирования», определяемый для конкретной модели) приращение амплитуды сигнала. Далее достигнутый средний уровень сигнала сравнивается в блоке сравнения с пороговым значением, зафиксированным в предшествующем периоде «сканирования». В случае если среднее приращение амплитуды не превышает допустимое значение, блок сравнения сохраняет полученное в накопителе значение до очередного периода «сканирования». Если же изменение среднего приращения амплитуды превышает допустимое приращение, происходит срабатывание блока блокировки сигнала, тем самым осуществляется исключение поступления к терминалу сигнала внешнего вторжения. Если в имитационной модели канала не предусмотрены «процедуры фильтрации» таких «поражённых» сообщений, работа канала блокируется.

Просчёт по этой модели массива $\{\xi_j\}$ из 10 элементов повторённый 50 раз (каждый повтор имитировал сеанс сканирования в радиоканале) дал 3 превышения допустимого уровня сигнала (условно полагалось, что средний уровень сигнала 0,5; максимальный уровень помехи – 1; «вклад» каждого $\xi_j = 1$ в суммарный сигнал с помехой равен 0,1). Этот результат можно принять за оценку вероятности ошибки в канале $P_0 = 0,06 > P_{0\text{ доп.}} = 0,05$, заданную изначально.

Во второй рассматриваемой модели РЭП для радиоподавления сигналов с дискретной модуляцией, рассматривается один из способов оценки помехоустойчивости приема фазоманипулированных сигналов в условиях использования модели ХИП АТ помех.

Математическую модель ХИП АТ помехи с использованием алгоритма формирования импульсной последовательности со случайным генерированием единичных и нулевых посылок [4] можно представить в следующем виде,

$$XIII\ AT_i = \sum_{k=0}^{N_n-1} \sum_{n=0}^{N_u-1} f \left\{ \begin{array}{l} t_3 + \frac{T_n}{N_u} \times n + p \times k < t_i < t_3 + \frac{T_n}{N_u} \times (n+1) + p \times k; \\ rmd(1) \geq 0,5; \\ Sm \times \cos \left[2\pi f_0 t_j + \varphi_n \Big|_{\varphi_n = x_n \text{norm}(N, M, D)} \right]; \\ 0 \\ 0. \end{array} \right\}; \quad (6)$$

где t_3 – длительность интервала задержки кодовой посылки относительно момента времени $t_i = 0$;

- N_u – количество импульсов в посылке;
- T_n – длительность кодовой посылки;
- N_n – количество посылок в последовательности;
- P – период повторения посылок,

– φ_n – случайные начальные фазовые сдвиги единичных посылок, получаемые с помощью иного (независимого) генератора случайных чисел:

$$\varphi_n = X_n [\text{norm}\{N, M, D\}], \quad (7)$$

где N – длина массива случайных чисел, сформированного с помощью процедуры *norm* вектора случайных чисел с нормальным распределением;

- M – математическое ожидание распределения вектора чисел;
- D – дисперсия вектора.

При этом каждому фазовому сдвигу φ_n ставится в соответствие элемент вектора X_n .

Было проведено моделирование преднамеренной помехи в виде хаотической импульсной последовательности с амплитудной модуляцией (ХИТ АТ) в среде MathCAD.

При этом, в качестве избирательной цепи радиоприемного устройства ФТ сигнала использовался простой колебательный контур, параметры которого задаются. Хотя возможно, в рамках тех же процедур, что используются для моделирования помехи, произвести детектирование ФТ сигнала и его фильтрацию.

При анализе помехоустойчивости приема сигнала использовалась функция ошибок, значения которой полагались отличными от нуля в случае детектирования «единицы» при передаче «нуля» и наоборот.

Заключительным шагом работы модели является подсчет количества ошибочно принятых импульсов и принятие решения об эффекте от воздействия помехи. Для этого в моменты времени, соответствующие началу импульса, выполняется сравнение отсчетов решающей функции Dpr с отсчетами первичного сигнала DI . Если значения этих функций совпадают, значит, детектированный сигнал принят правильно – функция ошибок Ph равна нулю. Подсчитывается в переменной ko количество ошибок; после деления этого значения на количество переданных символов $ksim$, получается «вероятность ошибки» в локальном контексте (только для моделируемого фрагмента сигнала). Далее сравнивается значение переменной Pp (локальной «вероятность правильного приема») с пороговым значением (в рассмотренном примере 0,65) и принимается решение о результате воздействия помехи на сигнал. На рис. 2 приведена последняя страница листинга моделирующей программы, отображающей эту заключительную стадию.

$$\begin{aligned}
 D1_j &:= \text{if}(D_j = -1, 0, D_j) & ksim &:= \frac{Nt}{dL} & DP_{zh+h1} &:= Dpr_{h1} \\
 Ph_{h1} &:= \text{if}(D1_{h1} = Dpr_{h1}, 0, 1) & Ph_0 &:= 0 & ko &:= \sum_{h1} P_{h1} & Po &:= \frac{ko}{ksim} \\
 Pp &:= 1 - Po & Kp &:= \text{if}(Pp > 0.65, \text{“NO TFFTCT”}, \text{“NO SIGNAL”})
 \end{aligned}$$

Рис. 2. Листинг

На рис. 3 показаны результаты анализа воздействия ХИП АТ помехи

на ФТ сигнал.

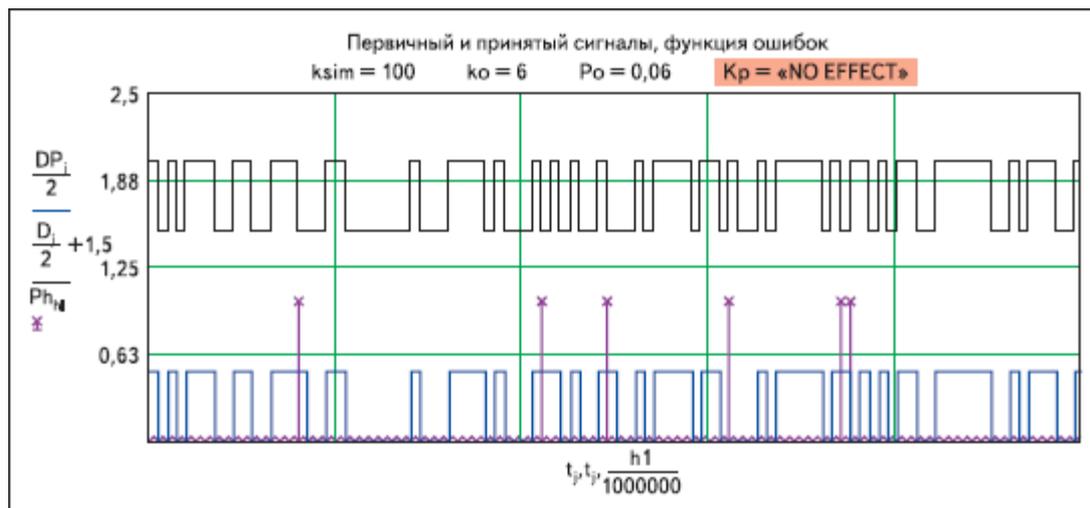


Рис. 3. Результаты воздействия ХИП-АТ помехи на ФТ канал

В данном случае, на выборке 100 сигналов получена вероятность ошибки $P_o = 0,06 < P_{o\ доп} = 0,065$ (в первой модели $P_o = 0,06 > P_{o\ доп} = 0,05$, на 50 сигналах). То есть сопоставление результатов даёт их сходство. Обе модели, схожие не только по принципу действия, но и по структуре, являются достаточно гибкими с позиций их применимости при моделировании достаточно широкого спектра радиоканалов, что связано с относительной независимостью этих моделей от параметров радиоканалов.

Конечно, принятые допущения и ограничения моделей не позволяют в полной мере утверждать об их универсальности и с высокой степенью достоверности осуществлять анализ воздействия преднамеренных помех на работу любых радиоканала. Но одной из целей работы состояла в том, чтобы по результатам моделирования показать возможность и направление дальнейшего развития модели.

Список литературы

1. Осмоловский С. А. Стохастические коды, исправляющие ошибки с гарантированной точностью. // Системы и средства связи, телевидения и радиовещания. М.: АО «ЭКОС». 2001. – № 2, 3. [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://www.stokos.ru/stat5.htm>
2. Алферов А. П. Основы криптографии. М.: Гелиос, 2001. С. 321-323.
3. Математическая модель преднамеренной помехи (ПП) при моделировании помехоустойчивых трактов связи // Шевцов А.В. / Вестник Морского государственного университета. Сер. Автоматическое управление, математическое моделирование и информационные технологии. Вып.51. – Владивосток : Морской гос. ун-т, 2012, с. 173 – 175.
4. Антипенский Р. В. Разработка моделей преднамеренных помех сигналам с дискретной модуляцией // Материалы и технологии. 2007, №10.
5. Эффективность и радиоэлектронная защита военных систем связи /Под ред. В. Ф. Комаровича. – Л.: ВАС, 1982. – 276 с.

6. Моделирование и генерация стохастических входных параметров при имитационном моделировании / А. В. Шевцов // Вестник Морского государственного университета. Сер. Автоматическое управление, математическое моделирование и информационные технологии. – Владивосток: Мор. гос. ун-т, 2012. – Вып. 51/2012. Головин А. В. Декаметровая радиосвязь. М.: Радио и связь, 1990. – 240 с.

7. Головин А. В. Декаметровая радиосвязь. М.: Радио и связь, 1990. – 240 с.

8. Орошук И. М. Метод статистического обнаружения несанкционированного вторжения в радиоканал // Журнал радиоэлектроники. М: № 5.– 2003.

УДК 519.248

А. В. Шевцов

НАДЁЖНОСТЬ СИСТЕМЫ ИЗ ВЗАИМОЗАВИСИМЫХ ЭЛЕМЕНТОВ

Для большинства реальных систем отказы отдельных элементов не являются независимыми. Расчёт надёжности с взаимозависимыми отказами затруднён [1]. Точные и достаточно удобные для непосредственных расчётов соотношения удаётся получить лишь в частных случаях достаточно простых систем, а в более общих случаях приходится использовать более или менее точные оценки показателей надёжности [2], [3]. В данной работе предлагаются формулы для расчёта надёжности систем, состоящих из взаимозависимых элементов, для случая, когда априорно задана последовательность их срабатывания.

Пусть задана система, состоящая из N элементов, причём задача системы выполняется при их последовательном срабатывании (под срабатыванием отдельного элемента понимается выполнение им некоторой стандартной операции). Полагаем, что для каждого j -го элемента ($j = \overline{1, N}$) заданы вероятности q_j выполнения задачи при отсутствии влияния других элементов, а также p_{jk} или q_{jk} ($j = 1, 2, \dots, k-1; k = 1, 2, \dots, N$) – вероятности того, что срабатывание или отказ, соответственно, j -го элемента не приводит к выходу из строя k -го элемента. В качестве показателей надёжности предлагается принять математическое ожидание (среднее по выборке) числа неотказавших элементов и вероятность срабатывания P_c всех элементов.

Рассмотрим полную группу событий, связанных с реализацией выполнения системой поставленной задачи. Каждое событие задаётся совокупностью величин $\{\chi_m: m = 1, \dots, N\}$, где χ_m принимает значение 1 если m -й элемент сработал, и 0, если отказал. Вероятность произвольного события $\{\chi_m\}$ задаётся соотношением:

$$P(\{\chi_m\}) = P(\chi_1) \cdot P(\chi_2|\chi_1) \cdot \dots \cdot P(\chi_k|\chi_1, \chi_2, \dots, \chi_{k-1}) \cdot \dots \cdot P(\chi_N|\chi_1, \chi_2, \dots, \chi_{N-1}), \quad (1)$$

где $P(\chi_k|\chi_1, \chi_2, \dots, \chi_{k-1})$ – вероятность срабатывания ($\chi_k = 1$) или отказа (χ_k

= 0) k -го элемента при заданной последовательности предыдущих срабатываний или отказов ($\chi_1, \chi_2, \dots, \chi_{k-1}, k = 2, 3, \dots, N$).

$$P(1|\chi_1, \chi_2, \dots, \chi_{k-1}) = q_j \cdot \prod_{j=0}^{k-1} \left[(p_{jk})^{\delta_j} (q_{jk})^{1-\delta_j} \right], \quad (2)$$

$$P(0|\chi_1, \chi_2, \dots, \chi_{k-1}) = 1 - P(1|\chi_1, \chi_2, \dots, \chi_{k-1}), \quad (3)$$

Где

$$\delta_k = \begin{cases} 1, & \text{если } \chi_k = 1; \\ 0, & \text{если } \chi_k = 0, p_{0k} = q_{0k} = 1 \quad (k = 1, \dots, N); \delta_0 = 1. \end{cases} \quad (4)$$

Объединяя (2) и (3), получаем

$$P(\chi_k|\chi_1, \chi_2, \dots, \chi_{k-1}) = 1 - \delta_k - (-1)^{\delta_k} \cdot \prod_{j=0}^{k-1} \left[(p_{jk})^{\delta_j} (q_{jk})^{1-\delta_j} \right]. \quad (5)$$

Число неотказавших при реализации события $\{\chi_m\}$ элементов

$$n(\{\chi_m\}) = \sum_{l=1}^N \delta_l. \quad (6)$$

С учётом (1), (5) и (6), математическое ожидание числа неотказавших элементов

$$M[n] = \sum_{\chi_1=0}^1 \sum_{\chi_2=0}^1 \dots \sum_{\chi_N=0}^1 \left(\sum_{l=1}^N \delta_l \right) \prod_{k=1}^N \left\{ 1 - \delta_k - (-1)^{\delta_k} q_k \prod_{j=0}^{k-1} \left[(p_{jk})^{\delta_j} (q_{jk})^{1-\delta_j} \right] \right\}. \quad (7)$$

Вероятность срабатывания m -го элемента определяются по формуле

$$P(\chi_m = 1) = \sum_{\chi_1=0}^1 \sum_{\chi_2=0}^1 \dots \sum_{\chi_{m-1}=0}^1 \prod_{k=1}^m \left\{ 1 - \delta_k - (-1)^{\delta_k} q_k \prod_{j=0}^{k-1} \left[(p_{jk})^{\delta_j} (q_{jk})^{1-\delta_j} \right] \right\}. \quad (8)$$

Вероятность срабатывания всех элементов равна

$$P_c = \prod_{m=1}^N P(\chi_m = 1).$$

Полученные формулы (7) и (8) при $N \geq 10$ и больше достаточно сложны для непосредственных расчётов (то есть без привлечения вычислительных ресурсов). Однако, при дополнительном допущении, что выполняются условия: $p_{jk} = p_0$; $q_{jk} = q_0$, ($j = 1, 2, \dots, k-1$; $k = 1, 2, \dots, N$), т. е.

все вероятности взаимовлияния элементов на срабатывание (а также и на отказ) – одинаковы, выбранные показатели надёжности системы рассчитываются по следующим простым соотношениям:

$$M[n] = \sum_{m=1}^N m \cdot (P_{i,m} + Q_{i,m}); P_c = \prod_{i=1}^N \left(\sum_{m=1}^i P_{i,m} \right),$$

где $P_{i,m}$ – вероятность того, что из i первых элементов m сработали и при этом сработал i -й элемент; $Q_{i,m}$ – вероятность того, что из i первых элементов m сработали и при этом отказал i -й элемент.

Вероятности $P_{i,m}$ и $Q_{i,m}$ рассчитываются рекуррентно:

$$P_{00} = 0, \quad Q_{00} = 1;$$

$$P_{i,m} = \begin{cases} 0, & \text{если } m = 0; \\ (P_{i-1,m-1} + Q_{i-1,m-1})q_i p_0^{m-1} q_0^{m-1}, & \text{если } m = 1, 2, \dots, i; \end{cases}$$

$$Q_{i,m} = \begin{cases} (P_{i-1,m-1} + Q_{i-1,m-1})(1 - q_i p_0^{m-1} q_0^{m-1}), & \text{если } m = 0, 1, \dots, i-1; \\ 0, & \text{если } m = i. \end{cases}$$

Предложенные выше соотношения позволяют рассчитывать надёжности систем, состоящих из взаимозависимых элементов, при априорно заданной последовательности их срабатывания.

Список литературы

1. Эффективность, надёжность и живучесть систем // Волик Б. г., Рябинин И. Н. / Автоматика и телемеханика. – 1984. - №12, с. 151 – 160.
2. Оценка показателей надёжности и живучести топологических структур информационных сетей // Шевцов А. В. / Сб. "Автоматизация эксперимента и обработка данных".- Владивосток, 1986.- с. 104 - 109.
3. О взаимосвязи показателей надёжности и живучести сети связи и проблеме их оценки // Шевцов А. В. / Сб. трудов XLVII Всероссийской межвузовской научно-технической конференции "Фундаментальные и прикладные вопросы естествознания". Т.1. – ТОВВМИ им. С. О. Макарова. – Владивосток : 2004. с.200 – 202.

УДК 621.372

Д. В. Штаев, С. Н. Павликов

ОЦЕНКА ТЕХНИЧЕСКОЙ И ЭКОНОМИЧЕСКОЙ ЭФФЕКТИВНОСТИ ПРОЕКТА МОБИЛЬНОГО ТЕЛЕФОНА 4G++

Объект исследования – мобильные системы связи, совокупность инфраструктуры мобильных систем связи (базовые станции и мобильные терминалы). Предмет исследования – технологии решения задач повышения продуктивности работы мобильных систем связи.

Цель – оценка технических и экономических показателей систем.

Использованы методы системного анализа, математическое моделирование, теория массового обслуживания и теория телетрафика.

В данный момент наблюдается тенденция уменьшения размеров сот (до 1 км и менее) в связи с высокими частотами новых стандартов. Это требует увеличения количества базовых станций на единицу площади и ведет к большим затратам сотовых операторов, предоставляющих 4G-услуги. В России для LTE используют частоту 2,6 ГГц. (В США – 700 МГц.) В теории сеть 4G должна достигать скорости 100 Мбит/с. На практике она в разы меньше. Например, на карте покрытия Yota видно, что провайдер остановился приблизительно на 50% покрытия территории города, обеспечив уверенным приемом наиболее густонаселенные районы. Дальнейшее увеличение зон приема сигнала 4G оказалось невыгодным. Остались просветы. В настоящее время мобильные радиосети развиваются экстенсивным путем, т.е. методом увеличения количества базовых станций (БС). Но для сети 4G становится невыгодно устанавливать большое количество базовых станций для того чтобы покрыть всю площадь населенного пункта. Так же не выгодно увеличивать мощность их излучения. Поэтому следует идти по интенсивному пути развития, решая проблему не количественным, а качественным способом [1].

Решить данную проблему можно способом передачи части функций базовых станций, мобильным телефонам абонентов. Таким образом, мобильный телефон будет являться организатором соединений с другими абонентскими устройствами напрямую. Предлагаемый абонентский терминал, работающий в сети 4G+, отличается наличием ретранслятора, выполняющего часть функций базовой станции. Технический результат заключается в обеспечении возможности осуществления связи двух мобильных терминалов, находящихся вне зоны действия друг друга без участия базовой станции, но при наличии соединения с третьим мобильным терминалом, имеющим ретрансляционный узел, показан на рисунке 1. Между ними может быть не один, а целая цепочка из 5-6 других подобных мобильных устройств [2]. Необходимое условие работы такой сети - плотность расположения абонентов на местности соответствующая радиусу действия абонентского ретранслятора (мини-БС) настолько, чтобы вероятность попадания в эту область двух соседних терминалов равнялась единице ($p(2)=1$) – для города выполняется. Исключение – сельская местность с плотностью населения менее одного человека на км². Здесь может использоваться существующая система связи с сотами большего радиуса. И это логично, потому как в сельской местности высокоскоростная передача данных менее востребована. Основными функциями базовых станций станут обмен служебной информацией с абонентами и междугородняя связь.

Устройство пикосотовой базовой станции PBS (piconet base station) будет реализовано в виде специализированной интегральной микросхемы (ASIC) (рис. 2).

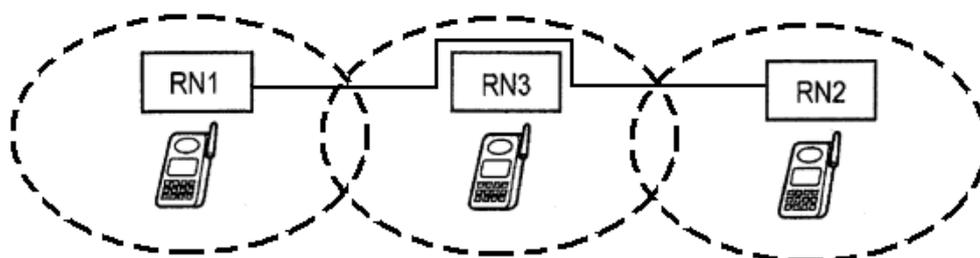


Рис. 1. Связь двух мобильных терминалов с помощью третьего, имеющего ретранслятор

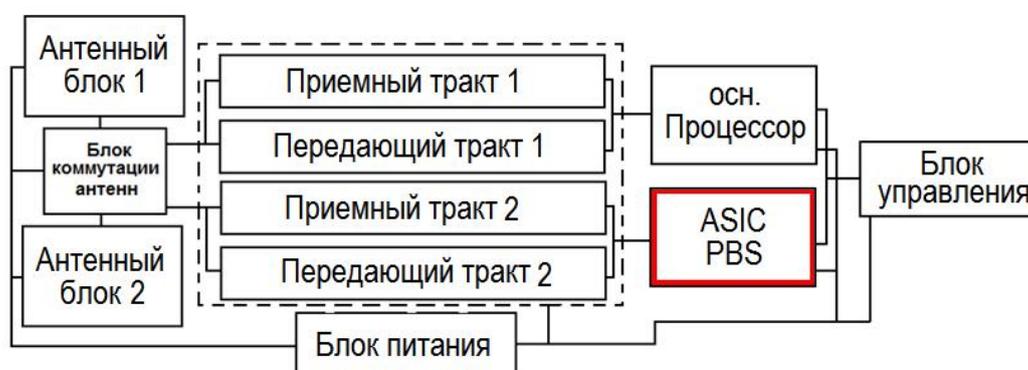


Рис. 2. Структурная схема абонентского терминала

Расчет показывает, что увеличивать количество базовых станций или их мощности не выгодно по сравнению с предложенным решением. Поэтому предлагается решить проблему путем разработки дополнительной детали к мобильным телефонам, дающей конкурентные преимущества, представленные в таблице 1.

Таблица 1

Конкурентные преимущества

Особенность	Преимущество	Выгода
Представляет собой спец. Интегральную микросхему (ASIC)	Малогабаритность, мобильность.	Подходит ко всем мобильным устройствам
Ретранслятор, как промежуточное звено (транзитный элемент)	Выполнение части функций базовой станции	Увеличение числа абонентов в 2 раза Обслуживание вне зоны действия базовой станции

Особенность	Преимущество	Выгода
Ретранслятор, как мини-БС	Использование меньшего количества базовых станций	Уменьшение расходов на содержание БС.
Высокие частоты и малые размеры сот	Сниженная мощность излучения	Снижение уровня помех и воздействия электромагнитного поля на человека.
		Увеличение скорости передачи данных (переход на 4G)

По расчетам согласно разработанной методике оценки технической эффективности работы подвижных систем связи [3] плотность использования частотного ресурса, помехоустойчивость, помехозащищенность, скорость передачи данных и скорость переходных процессов для данной проектной сети связи останутся полностью неизменными, показатели экологической безопасности останутся на прежнем уровне, а количественно-качественная и энергетическая емкости сети возрастут. Результаты оценки эффективности проведены по максимальному количеству пользователей, которые могут быть одновременно обслужены (N_{max}), определяется количеством каналов в соте (N_c), перемноженным на количество сот в системе (C):

$$N_{max} = N_c \cdot C, \text{ [пользователей]} \quad (1)$$

Следовательно, если на каждую соту будет приходиться хотя бы по одному абоненту, имеющему телефон с функцией 4G++, то количество каналов увеличится вдвое (при условии обеспечения равного количества каналов БС и мобильных БС). То есть, даже при неизменном количестве основных БС, емкость сети возрастает за счет увеличения количества каналов связи, предоставляемых увеличившимся количеством МБС, и будет обеспечено 100-процентное покрытие площади города.

Если существующего количества каналов до внедрения разработки было достаточно (50-процентное покрытие города), оператор может без риска изменения их количества снизить число базовых станций до двух раз. Эти показатели находятся в обратно пропорциональной зависимости друг от друга и могут быть отрегулированы, исходя из необходимого результата.

$$N_{СБС} \cdot C_{МБС} = \frac{N_{max}}{N_{СБС} \cdot C_{БС}}, \quad (2)$$

$$C_{МБС} \sim \frac{1}{C_{БС}}, \quad (3)$$

где:

- $C_{МБС}$ – количество мобильных базовых станций,
- $C_{БС}$ – количество стационарных базовых станций,

- $N_{\text{Бс}}$ – количество каналов, приходящихся на одну БС,
- $N_{\text{Смбс}}$ – количество каналов, приходящихся на одну МБС.

Наиболее оптимален вариант увеличения количества одновременно обслуживаемых абонентов на $\frac{1}{4}$ и снижение количества базовых станций на $\frac{1}{4}$. Учитывая, что в современных сотовых сетях около 80% средств тратится на приобретение участков земли, аренду площадей, постройку конструкций и только 20% – на технологическое оборудование, для провайдера это – большая экономия. Однако рассчитать дополнительную площадь покрытия свободно движущимися ретрансляторами невозможно [4].

Показателем экологической эффективности системы связи служит напряженность электромагнитного поля. Она убывает пропорционально квадрату расстояния до точки приема. Таким образом: чем дальше отстоят мобильный телефон и БС, тем больше мощности они излучают в направлении друг друга. Следовательно, уменьшение уровня воздействия электромагнитного излучения (ЭМИ), решаемое ранее увеличением количества БС, в данном случае будет аналогично решено увеличением количества мобильных телефонов имеющих функции БС. А их близость к человеку компенсируется еще более малыми мощностями чем ранее, в связи с малыми расстояниями от абонента до абонента (менее 500 метров).

Кроме того предполагаемая система связи эффективна не только технически, но и экономически. Разработка будет выгодна производителям оборудования (от продаж телефонов, поддерживающих функцию 4G++), сотовым операторам, которые смогут увеличить зону покрытия 4G, сократить расходы на содержание БС, увеличить количество абонентов 4G-сети, а так же абонентам – в виде постоянного высокоскоростного доступа в интернет в любой точке города и удешевление услуг сети.

По итогам расчетов можно выделить основные показатели экономической эффективности с внедрением в систему предложенного технического решения:

- уменьшение экономических затрат оператора на предоставление услуг сети за счет сокращения количества базовых станций;
- срок окупаемости затрат абонентов на оборудование составит 0,3 года;
- удешевление минуты разговора в среднем в 0,83 раза;
- 10% компенсация за работу ретранслятора.

Более подробно экономический эффект представлен в таблице 2.

Таблица 2

Сопоставление экономической эффективности базового и проектного вариантов

Параметр	Базовый вариант	Проектный вариант
Себестоимость единицы продукта (минута разговора)	3 руб.	2,5 руб.

Годовые эксплуатационные расходы на МТ	6200 руб.	6400 руб.
Срок окупаемости доп. кап. вложений	-	0,3 года

Таким образом, в работе рассмотрены новые технические решения, позволяющие при различных модификациях, условиях и ограничениях обеспечить повышение эффективности не только самых современных мобильных систем связи, но и продлить срок эксплуатации предыдущих поколений 2G – 3G, подняв их качественные параметры до уровня 4G, при условии, что 4G не будет использовать данную технологию.

Скорее всего, и операторы 4G внедрят предложенное техническое решение, что приведет к восстановлению соотношения качественных параметров для мобильных систем связи, но теперь они будут характеризоваться более высоким качеством, чем до внедрения данного решения.

Список литературы

1. Штаев Д. В., Волобуева А. К., Веселова С. С. Техническое решение по модернизации мобильных устройств сотовой связи. // Сборник докладов 61 международной молодежной научно-технической конференции «Молодежь. Наука. Инновации» 20-21.11.2013, МГУ им. адм. Г.И. Невельского,- Владивосток. С.221-225.

2. Штаев Д. В. Усовершенствование технического решения по модернизации мобильных устройств сотовой связи. //Сборник докладов 62 международной молодежной научно-технической конференции «Молодежь. Наука. Инновации» 18-25.11.2014, МГУ им. адм. Г.И. Невельского,- Владивосток. С.222-225.

3. Веселова С. С., Павликов С. Н. Методика оценки эффективности методов управления мобильными радиосетями //Вестник морского государственного университета. Сер. Автоматическое управление, математическое моделирование и информационные технологии. – Владивосток: Мор. гос. ун-т, 2011. Вып.45. С.3 – 13.

4. Штаев Д. В. Способы повышения эффективности работы подвижных систем связи. //Сборник докладов 62 международной молодежной научно-технической конференции «Молодежь. Наука. Инновации» 18-25.11.2014, МГУ им. адм. Г.И. Невельского,- Владивосток. С.225-229.

УДК 004.056.5

Н. А. Леонтьева, И. А. Щербинина

ОБЗОР ФУНКЦИОНАЛЬНЫХ ВОЗМОЖНОСТЕЙ СРЕДСТВ ЗАЩИТЫ ИНФОРМАЦИИ ОТ НЕСАНКЦИОНИРОВАННОГО ДОСТУПА

Сегодня для большинства организаций, являющихся операторами информационных систем персональных данных (далее – ИСПДн), особую сложность представляет выбор необходимых средств защиты информации (далее – СЗИ), соответствующих законодательству, в том числе СЗИ от несанкционированного доступа (далее – НД). Несмотря на то, что рынок

предлагает множество различных сертифицированных СЗИ, многим специалистам пока сложно разобраться, как их функциональные возможности соответствуют приказу ФСТЭК России от 18 февраля 2013 г. № 21 «Об утверждении Состава и содержания организационных и технических мер по обеспечению безопасности персональных данных при их обработке в информационных системах персональных данных».

В состав мер по обеспечению безопасности персональных данных (далее – ПДн), реализуемых в рамках систем защиты ПДн с учётом актуальных угроз безопасности ПДн и применяемых информационных технологий, в соответствии с приказом ФСТЭК России № 21 входят:

- идентификация и аутентификация субъектов доступа и объектов доступа;
- управление доступом субъектов доступа к объектам доступа;
- ограничение программной среды;
- защита машинных носителей информации, на которых хранятся и (или) обрабатываются ПДн;
- регистрация событий безопасности;
- антивирусная защита;
- обнаружение (предотвращение) вторжений;
- контроль (анализ) защищённости ПДн;
- обеспечение целостности информационной системы и ПДн;
- защита среды виртуализации;
- защита технических средств;
- защита ИС, её средств, систем связи и передачи данных;
- выявление инцидентов и реагирование на них;
- управление конфигурацией ИС и системы защиты ПДн.

В настоящее время среди основных игроков рынка СЗИ от НСД можно выделить следующие продукты: Secret Net, Dallas Lock, Страж NT. СЗИ Secret Net 7.0, Dallas Lock 8.0-С и Страж NT 3.0 соответствуют 2-му уровню контроля отсутствия недеklarированных возможностей и 3-му классу защищённости от НСД (сертификаты ФСТЭК России № 2707, № 2945 и № 2145 соответственно), и могут использоваться для защиты информации в ИСПДн до 1-го класса включительно.

Функциональные возможности вышеперечисленных СЗИ от НСД и соответствие им требований приказа ФСТЭК России № 21 приведены в таблице 1. Таблица составлена на основе информации, предоставленной разработчиками средств защиты [1], [2], [3] и в соответствии с приказом ФСТЭК России № 21.

Таблица 1.

Технические меры по обеспечению безопасности в соответствии с приказом ФСТЭК России № 21 и возможности СЗИ от НСД

№ п/п	Условное обозначение и № меры	Меры по обеспечению безопасности ПДн	Уровни защищённости ПДн				Secret Net 7.0	Dallas Lock 8.0-C	Страж NT 3.0
			4	3	2	1			
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Идентификация и аутентификация субъектов доступа и объектов доступа									
1	ИАФ.1	Идентификация и аутентификация пользователей, являющихся работниками оператора	+	+	+	+	+	+	+
2	ИАФ.2	Идентификация и аутентификация устройств, в том числе стационарных и портативных			+	+	-	+	+
3	ИАФ.3	Управление идентификаторами, в том числе создание, присвоение, уничтожение идентификаторов	+	+	+	+	+	+	+
4	ИАФ.4	Управление средствами аутентификации, в том числе хранение, выдача, инициализация, блокирование средств аутентификации и принятие мер в случае утраты и (или) компрометации средств аутентификации	+	+	+	+	+	+	-
5	ИАФ.5	Защита обратной связи при вводе аутентификационной информации	+	+	+	+	+	+	+
6	ИАФ.6	Идентификация и аутентификация пользователей, не являющихся работниками оператора (внешних пользователей)	+	+	+	+	-	+	+
Управление доступом субъектов доступа к объектам доступа									
7	УПД.1	Управление (заведение, активация, блокирование и уничтожение) учётными записями пользователей, в том числе внешних пользователей	+	+	+	+	+	+	+
8	УПД.2	Реализация необходимых методов (дискреционный, мандатный, ролевой или иной метод), типов (чтение, запись, выполнение или иной тип) и правил разграничения доступа	+	+	+	+	+	+	+
9	УПД.4	Разделение полномочий (ролей) пользователей, администраторов и	+	+	+	+	+	+	+

№ п/п	Условное обозначение и № меры	Меры по обеспечению безопасности ПДн	Уровни защищённости ПДн				Secret Net 7.0	Dallas Lock 8.0-C	Страж NT 3.0
			4	3	2	1			
		лиц, обеспечивающих функционирование ИС							
10	УПД.5	Назначение минимально необходимых прав и привилегий пользователям, администраторам и лицам, обеспечивающим функционирование ИС	+	+	+	+	-	+	
11	УПД.6	Ограничение неуспешных попыток входа в ИС (доступа к ИС)	+	+	+	+	+	+	
12	УПД.8	Оповещение пользователя после успешного входа в ИС о его предыдущем входе в ИС					-	+	
13	УПД.9	Ограничение числа параллельных сеансов доступа для каждой учётной записи пользователя ИС					-	+	
14	УПД.10	Блокирование сеанса доступа в ИС после установленного времени бездействия (неактивности) пользователя или по его запросу		+	+	+	+	-	
15	УПД.11	Разрешение (запрет) действий пользователей, разрешённых до идентификации и аутентификации		+	+	+	+	+	
16	УПД.12	Поддержка и сохранение атрибутов безопасности (меток безопасности), связанных с информацией в процессе её хранения и обработки					+	+	
17	УПД.14	Регламентация и контроль использования в ИС технологий беспроводного доступа	+	+	+	+	+	+	
18	УПД.15	Регламентация и контроль использования в ИС мобильных технических средств	+	+	+	+	+	+	
19	УПД.17	Обеспечение доверенной загрузки средств вычислительной техники			+	+	+	+	
Ограничение программной среды									
20	ОПС.1	Управление запуском (обращениями) компонентов ПО, в том числе определение запускаемых компонентов, настройка параметров запуска компонентов, контроль за запуском компонентов ПО					+	+	+
21	ОПС.2	Управление установкой (инсталляцией) компонентов ПО, в том числе определение компонентов, подлежащих установке, настройка параметров установки компонентов,			+	+	-	-	+

№ п/п	Условное обозначение и № меры	Меры по обеспечению безопасности ПДн	Уровни защищённости ПДн				Secret Net 7.0	Dallas Lock 8.0-C	Страж NT 3.0
			4	3	2	1			
		контроль за установкой компонентов ПО							
22	ОПС.3	Установка (инсталляция) только разрешённого к использованию ПО и (или) его компонентов				+	-	+	
Защита машинных носителей ПДн									
23	ЗНИ.1	Учёт машинных носителей ПДн			+	+	+	-	+
24	ЗНИ.2	Управление доступом к машинным носителям ПДн			+	+	+	-	+
25	ЗНИ.4	Исключение возможности несанкционированного ознакомления с содержанием ПДн, хранящихся на машинных носителях, и (или) использования носителей ПДн в иных ИС					-	+	+
26	ЗНИ.5	Контроль использования интерфейсов ввода (вывода) информации на машинные носители ПДн					+	+	+
27	ЗНИ.6	Контроль ввода (вывода) информации на машинные носители ПДн					+	+	+
28	ЗНИ.7	Контроль подключения машинных носителей ПДн					+	+	+
29	ЗНИ.8	Уничтожение (стирание) или обезличивание ПДн на машинных носителях при их передаче между пользователями, в сторонние организации для ремонта или утилизации, а также контроль уничтожения (стирания) или обезличивания		+	+	+	+	+	+
Регистрация событий безопасности									
30	РСБ.1	Определение событий безопасности, подлежащих регистрации, и сроков их хранения	+	+	+	+	+	+	+
31	РСБ.2	Определение состава и содержания информации о событиях безопасности, подлежащих регистрации	+	+	+	+	+	+	+
32	РСБ.3	Сбор, запись и хранение информации о событиях безопасности в течение установленного времени хранения	+	+	+	+	+	+	+
33	РСБ.4	Реагирование на сбои при регистрации событий безопасности, в том числе аппаратные и программные ошибки, сбои в механизмах сбора информации и достижение предела или переполнения объёма (ёмкости)					+	-	+

№ п/п	Условное обозначение и № меры	Меры по обеспечению безопасности ПДн	Уровни защищённости ПДн				Secret Net 7.0	Dallas Lock 8.0-C	Страж NT 3.0
			4	3	2	1			
		памяти							
34	РСБ.5	Мониторинг (просмотр, анализ) результатов регистрации событий безопасности и реагирование на них			+	+	+	+	
35	РСБ.7	Защита информации о событиях безопасности	+	+	+	+	+	+	
Контроль (анализ) защищенности ПДн									
36	АНЗ.3	Контроль работоспособности, параметров настройки и правильности функционирования ПО и СЗИ		+	+	+	+	+	-
37	АНЗ.4	Контроль состава технических средств, ПО и СЗИ		+	+	+	+	+	-
38	АНЗ.5	Контроль правил генерации и смены паролей пользователей, заведения и удаления учетных записей пользователей, реализации правил разграничения доступа, полномочий пользователей в ИС			+	+	+	-	-
Обеспечение целостности информационной системы и персональных данных									
39	ОЦЛ.1	Контроль целостности ПО, включая ПО СЗИ			+	+	+	+	+
40	ОЦЛ.2	Контроль целостности ПДн, содержащихся в базах данных ИС					+	-	+
41	ОЦЛ.3	Обеспечение возможности восстановления ПО, включая ПО СЗИ, при возникновении нештатных ситуаций					+	+	-
42	ОЦЛ.5	Контроль содержания информации, передаваемой из ИС (контейнерный, основанный на свойствах объекта доступа, и (или) контентный, основанный на поиске запрещенной к передаче информации с использованием сигнатур, масок и иных методов), и исключение неправомерной передачи информации из ИС					+	+	-
43	ОЦЛ.6	Ограничение прав пользователей по вводу информации в ИС					+	+	-
Обеспечение доступности персональных данных									
44	ОДТ.2	Резервирование технических средств, ПО, каналов передачи информации, средств обеспечения функционирования ИС					+	-	-
45	ОДТ.3	Контроль безотказного функционирования технических средств, обнаружение и локализация отказов				+	+	-	-

№ п/п	Условное обозначение и № меры	Меры по обеспечению безопасности ПДн	Уровни защищённости ПДн				Secret Net 7.0	Dallas Lock 8.0-C	Стр аж NT 3.0
			4	3	2	1			
		функционирования, принятие мер по восстановлению отказавших средств и их тестирование							
Защита среды виртуализации									
46	ЗСВ.2	Управление доступом субъектов доступа к объектам доступа в виртуальной инфраструктуре, в том числе внутри виртуальных машин	+	+	+	+	+	+	-
47	ЗСВ.3	Регистрация событий безопасности в виртуальной инфраструктуре		+	+	+	-	+	-
48	ЗСВ.5	Доверенная загрузка серверов виртуализации, виртуальной машины (контейнера), серверов управления виртуализацией					-	+	-
49	ЗСВ.7	Контроль целостности виртуальной инфраструктуры и её конфигураций			+	+	-	+	-
Защита информационной системы, ее средств, систем связи и передачи данных									
50	ЗИС.1	Разделение в ИС функций по управлению (администрированию) ИС, управлению системой защиты ПДн, функций по обработке ПДн и иных функций ИС				+	+	-	+
51	ЗИС.4	Обеспечение доверенных канала, маршрута между администратором, пользователем и СЗИ (функциями безопасности СЗИ)							
52	ЗИС.5	Запрет несанкционированной удалённой активации видеокамер, микрофонов и иных периферийных устройств, которые могут активироваться удаленно, и оповещение пользователей об активации таких устройств							
53	ЗИС.14	Использование устройств терминального доступа для обработки ПДн							
54	ЗИС.15	Защита архивных файлов, параметров настройки СрЗИ и ПО и иных данных, не подлежащих изменению в процессе обработки ПДн							
55	ЗИС.18	Обеспечение загрузки и исполнения ПО с машинных носителей ПДн, доступных только для чтения, и контроль целостности данного ПО							
56	ЗИС.19	Изоляция процессов (выполнение программ) в выделенной области							

№ п/п	Условное обозначение и № меры	Меры по обеспечению безопасности ПДн	Уровни защищённости ПДн				Secret Net 7.0	Dallas Lock 8.0-C	Страж NT 3.0
			4	3	2	1			
		памяти							
Выявление инцидентов и реагирование на них									
57	ИНЦ.2	Обнаружение, идентификация и регистрация инцидентов			+	+	+	-	-
58	ИНЦ.3	Своевременное информирование лиц, ответственных за выявление инцидентов и реагирование на них, о возникновении инцидентов в ИС пользователями и администраторами			+	+	+	-	-

Как видно из таблицы, каждое из перечисленных СЗИ имеет свои преимущества. СЗИ Secret Net имеет больше функциональных возможностей в соответствии с приказом ФСТЭК России № 21, чем Dallas Lock и Страж NT, однако при этом в отличие от Dallas Lock имеет ограничения:

- несовместимость с редакциями операционных систем Windows, в которых отсутствует возможность подключения к домену и управление средствами групповых политик;

- необходимость установки русского языка в региональных настройках операционных систем Windows.

СЗИ Страж NT в отличие от Secret Net и Dallas Lock функционирует в операционной системе Windows 2000, но не поддерживает работу в операционных системах Windows 8 (8.1) и Windows Server 2012 (R2).

Поэтому при выборе того или иного средства защиты необходимо учитывать не только формальное выполнение требований руководящих документов по защите информации, но и актуальные угрозы безопасности ПДн, применяемые информационные технологии в организации, совместимость с операционными системами защищаемых компьютеров и другие критерии, важные для организации.

Список литературы

1. ООО «Код Безопасности» [Электронный ресурс] / Решения / Защита персональных данных (ИСПДН) / Подробная информация о выполнении мер защиты, определенных Приказом ФСТЭК России от 18.02.2013 г. № 21, при помощи продуктов компании «Код Безопасности». – Режим доступа: <http://www.securitycode.ru/solutions/zashchita-personalnykh-dannykh/> свободный. – Загл. с экрана. – Яз. рус.

2. Система защиты информации от несанкционированного доступа Dallas Lock 8.0-C. Руководство по эксплуатации. РКДН.00004-01 92. – С-Пб. : ООО «Конфидент», 2012. – 143 с.

3. Система защиты информации от несанкционированного доступа «Страж NT», версия 3.0. Описание применения. МАВУ.00030-01 31. – Режим доступа: <http://www.rubinteh.ru/public/opis30.pdf>, свободный. – Загл. с экрана. – Яз. рус., 2010. – 77 с.

4. ФСТЭК России [Электронный ресурс] / Акты (приказы, распоряжения и другие акты) ; Приказ ФСТЭК России от 18 февраля 2013 г. № 21 «Об утверждении Состав и содержания организационных и технических мер по обеспечению безопасности персональных данных при их обработке в информационных системах персональных данных» – Режим доступа: <http://fstec.ru/normotvorcheskaya/akty/53-prikazy/691-prikaz-fstek-rossii-ot-18-fevralya-2013-g-n-21>, свободный. – Загл. с экрана. – Яз. рус.

УДК 629.584

Ф. Д. Юрчик, Ю. М. Соболев

ВОПРОСЫ РАЗРАБОТКИ ПОДВОДНОГО АППАРАТА

В настоящее время подводные аппараты находят всё более широкое применение при выполнении подводных исследовательских и спасательных операций на значительных глубинах Мирового океана. Данная техника может быть использована для изучения затонувших судов и кораблей, космических и летательных аппаратов, находящихся на большой глубине, а также – исследования природных аномалий морского дна: глубинных разломов и узкостей, имеющих тесное пространство для доступа к интересующим геологическим, археологическим и историческим объектам.

Решение актуальных задач в быстромменяющихся погодных, особенно экстремальных условиях требует повышенного быстродействия в применении технических средств, предназначенных для поиска затонувших объектов и выполнения аварийно-спасательных операций. Существенно сократить затраты времени при производстве поисковых работ удаётся путём увеличения скорости погружения аппарата на заданную глубину, повышения его ходкости и маневренности при обследовании затонувшего объекта, а также – быстрого подъёма аппарата и доставки фрагментов различного технологического оборудования на судно-носитель.

Анализ возмущающих гидродинамических воздействий, оказывающих влияние на корпус аппарата, позволяет выделить ряд преимущественных траекторий его движения, где затраты энергии и времени весьма велики, и определить путь сокращения последних. Так на этапе погружения и подъёма аппарата необходимо уменьшать сопротивление движению на вертикальных траекториях, а выполнение работ по поиску затонувшего объекта требует сокращения потерь путём уменьшения сопротивления на горизонтальных траекториях: по курсу и лагу.

Таким образом, возникает задача разработки нового подхода в строительстве корпусных конструкций аппаратов, позволяющего обеспе-

чить минимальное сопротивление движению в воде, как на вертикальных, так и на горизонтальных траекториях.

Очевидно, одним из решений поставленной задачи является создание подводного аппарата с изменяемой формой корпуса.

Большой интерес для разработчиков эффективной подводной робототехники в этом случае представляют аппараты-аналоги, содержащие подвижные элементы конструкции.

Одним из первых подобных устройств известен дистанционно управляемый деформируемый аппарат, содержащий корпус, выполненный в виде шестигранного параллелепипеда, с симметрично расположенными относительно вертикальной оси шестью педипуляторами, шарнирно закреплёнными на гранях корпуса с возможностью совершать пошаговые движения [1]. Корпус аппарата устойчив и сохраняет горизонтальное положение при движении по пересечённой поверхности с перепадом высот до 30% от его максимального габаритного размера. Причём, две передние конечности могут использоваться в качестве захватного устройства, и, когда это необходимо, он может удерживать небольшие объекты этими конечностями и перемещать их в пространстве.

Особенностью аппарата является то, что он может при наклоне корпуса справиться с перепадом высот до 70% от его максимального габарита. Другой существенной особенностью является то, что он может проходить через узкие окна и проёмы, изменяя свою форму. Шесть конечностей, на каждой из которых находится по четыре привода, позволяют роботу с легкостью двигаться во всех направлениях.

Существенным недостатком описанной выше конструкции является то, что деформации подвержены только конечности аппарата, а не его корпус. Отсутствие герметизации приводов отдельных звеньев манипуляционного устройства и электромеханических соединений с корпусом, не позволяет эксплуатировать представленный аппарат в морской среде.

Кроме того, не предусмотрен способ фиксации звеньев педипуляторов, что требует постоянного электроснабжения приводов. В процессе эксплуатации аппарата под воздействием описанных выше нагрузок произойдет смятие опорных поверхностей в корпусе, что исключит возможность перемещения отдельных звеньев относительно корпуса, после чего изделие быстро выходит из строя.

Известен также деформируемый подводный аппарат, содержащий корпус, выполненный в виде панциря краба, с шарнирно закреплёнными клешнями [2]. Подводный аппарат может быть использован в научных проектах, для выполнения геологоразведки, а также для осуществления соединения конструкций путём сварки глубоко под водой или ремонта труб для транспортировки нефти и газа. Может иметь устойчивое положение при сильных течениях, ориентируя свою носовую часть вниз и поднимая кормовую - вверх. Краб имеет одиннадцать камер на борту, включая акустические камеры для просмотра в пасмурную погоду океана с помощью отражения звуковых волн. Делая видео с частотой до 30 кадров в се-

кунду. Кроме того, робот имеет цветную HD камеру, которая может увеличить изображение, чтобы осмотреть предметы с приближением, отправляя данные обратно на судно-носитель по кабелю длиной пятьсот метров, который позволяет операторам управлять подводным аппаратом. Робот может использовать сонар для создания 3D-карт на морском дне с максимальной скоростью перемещения (1,6 км / ч).

Недостатком данного аппарата является отсутствие возможности производить деформацию, собственно, корпуса робота. Уменьшение сопротивления движению в воде обеспечено рациональным выбором соотношения длин звеньев клешен. В транспортном положении форма аппарата близка к сферической, что не приводит к существенному повышению гидродинамического качества – ходкости. Перенос или захват каких-либо предметов тем более приводит к возрастанию сопротивления движению в воде.

Известен деформируемый аппарат, содержащий корпус и подвижный манипуляционный механизм [3]. Робот весит 1900 кг, высотой 2,8 метров и работает на 2,2 л турбо дизельном двигателе. Оснащён гидравлическим приводом, силовыми преобразователями и различными датчиками (в том числе, датчиками угла и скорости перемещения звеньев манипуляционного механизма, инклинометром). Установленное на корпусе оборудование предназначено для управления передвижением аппарата с помощью восемнадцати гидравлических приводов, находящихся в ногах робота. Управление движением робота и манипуляционного механизма осуществляют с помощью РС из кабины водителя.

Недостатком представленной конструкции является то, что данный аппарат имеет жесткий корпус, большие габариты и обладает маленькой скоростью перемещения. Деформирование аппарата с помощью манипуляционного механизма не приводит к существенному уменьшению сопротивления движению.

Известен деформируемый аппарат, содержащий корпус и подвижный манипуляционный механизм [4]. Данный робот имеет двенадцать составных частей – микроманипуляторов, защищённых с внешней стороны лепестками-щитами, имеющими сферическую форму. Шесть верхних микроманипуляторов с помощью лепестков закрывают верхнюю половину машины, создавая своего рода купол или панцирь в виде полусферы, соответственно шесть микроманипуляторов, находящихся снизу, отвечают за передвижение аппарата. Когда манипуляторы робота разведены, и он передвигается вперед, создаётся эффект сходства по форме с паукообразным биологическим аналогом.

Управляя шестью парами лепестков последовательно по кругу, можно привести робот в движение. А также открывая и закрывая лепестки в разных местах, сверху деформируемый аппарат может выглядеть как простой купол, или цветок, или даже символ ядерного предупреждения. При передвижении в сферической форме аппарат имеет тормоз, открывая шесть нижних или верхних лепестков, робот может выполнить быстрое

торможение, потеряв сферическую форму, тем самым затруднив движение по поверхности. А также, приняв сферообразную форму, аппарат легко перемещается по жесткой поверхности.

Недостатком аппарата является то, что его форма близка к сферической, а деформирование не приводит к значительному увеличению соотношения главных размерений корпуса. Последнее обстоятельство не позволяет увеличить быстродействие аппарата.

Известен деформируемый аппарат в виде следящей системы двустороннего действия [5]. Она содержит подвижные звенья, последовательно соединённые в кинематическую цепь, с регулируемым соотношением главных размерений корпуса. На задающей стороне последовательно соединены первый регулятор, преобразователь тока и двигатель, связанный с первым датчиком положения, выход которого подключен к первому входу первого регулятора. На исполнительной стороне системы установлены последовательно соединенные второй регулятор, электрогидропреобразователь и гидродвигатель, связанный с вторым датчиком положения, выход которого подключен к первому входу второго регулятора, а также последовательно соединенные сумматор и блок интегрирования, подключенный выходом к второму входу первого и второго регулятора. С целью упрощения и повышения динамической точности системы, в ней первый и второй входы сумматора соединены, соответственно с выходом первого и второго регулятора.

Недостатком устройства является отсутствие герметизации исполнительных элементов.

В качестве прототипа разрабатываемого аппарата может быть использована конструкция деформируемого подводного аппарата, содержащего корпус, состоящий из подвижно соединённых звеньев [5]. Конструкцией корпуса служит пантограф, который может изменять форму в зависимости от заданного направления движения. В состав корпуса входят верхняя плавучая платформа и нижняя платформа-основание, на которой установлены контейнеры с технологическим оборудованием, имеющая отрицательную плавучесть. В центре нижней платформы-основания установлен привод механизма изменения формы пантографа. При погружении аппарата корпус-пантограф имеет максимальный вертикальный размер и минимальное поперечное сечение, что обеспечивает при минимальном сопротивлении воды максимальную скорость погружения аппарата на заданный рабочий горизонт. При этом дополнительно обеспечивается максимальная остойчивость аппарата, поскольку плавучая платформа максимально приподнята над тяжёлой платформой-основанием. Остойчивость аппарата ещё более увеличивается при оснащении его модулем захватного устройства, находящегося снизу платформы-основания, а также размещением блоков телекоммуникаций и гидроакустического оборудования [5]. Установка движителей хода, предназначенных для погружения и всплытия аппарата, на подвижно соединённых звеньях пантографа, позволяет обеспечить максимальную маневренность на заданном подводном горизонте,

когда пантографу придают максимальный габаритный размер в миделевом сечении. При этом плавучую платформу соединяют с тяжёлой платформой-основанием, обеспечивая минимальную остойчивость и максимальную поворотливость корпуса, необходимую при маневрировании вблизи затонувшего объекта

Вопросы, на которые необходимо ответить в результате поиска эффективного решения при синтезе аппаратов с изменяемой формой корпуса заключаются в следующем: повышение быстродействия аппарата, снижение затрат энергии при маневре, уменьшение затрат энергии при торможении аппарата, совершение более быстрого погружения и всплытия аппарата.

В результате анализа известных объектов, содержащих деформируемые элементы, удастся сформулировать техническое предложение на разработку подводного аппарата. Необходимо спроектировать деформируемый легкий корпус подводного аппарата для уменьшения сопротивления движению в толще воды в вертикальном направлении. Вследствие чего, удастся увеличить быстродействие аппарата и уменьшить затраты энергии на его перемещение в воде. Кроме того, можно деформировать не весь корпус аппарата, а только среднюю его часть, этим мы уменьшим количество используемых приводов. Возможно изменение соотношения длины и диаметра аппарата также для повышения маневренности и уменьшения затрат энергии на его передвижение. Последнее требует проведения специальных исследований на натурном макете подводного аппарата, которые также позволят определить необходимое количество и точки закрепления электроприводов на корпусе аппарата для наиболее быстрой деформации с целью увеличения маневренности.

Список литературы

1. Деформируемый аппарат. <http://www.diginfo.tv/v/11-0241-r-en.php>
3. Деформируемый аппарат. <http://www.dailymail.co.uk/sciencetech/article-2590545/Meet-Crabster-giant-robotic-CRAB-revolutionise-underwater-exploration.html>
1. 3. Деформируемый аппарат. <http://www.mantisrobot.com/about/4570641007>
4. Деформируемый аппарат. http://zentasrobots.com/?page_id=6
5. Деформируемый аппарат. <http://www.findpatent.ru/patent/129/1296404.html>
6. Патент РФ № 1125909. Подводный рабочий аппарат / Ф.Д. Юрчик и др. Оpubл. 1984.
7. Патент РФ № 1249836. Подводный рабочий аппарат / Ф.Д. Юрчик и др. Оpubл. 1986.

УДК 004.9.4

Разработка распределённой системы «Судоводитель» / Д. В. Белоус // Вестник Морского государственного университета. Сер. Информационные технологии. – Владивосток: Мор. гос. ун-т, 2015. – Вып. 68.

В статье приведена распределённая система «Судоводитель», её основные компоненты и модули. Приведено описание основных модулей и система команд. Показано, что путём разделения на отдельные процессы, можно повысить отказоустойчивость всей системы.

Библиогр.1, ил. 2

УДК 519.2

Синтез МРС регулятора с использованием линейной модели судна /Д. А. Бушко, С. С. Пашин // Вестник Морского государственного университета. Сер. Автоматическое управление, математическое моделирование и информационные технологии. – Владивосток: Мор. гос. ун-т, 2015. – Вып. 68.

В статье рассматривается задача управления курсом судна. Производится синтез МРС регулятора на основе линейной модели динамики судна. Реализована дискретная модель судна и линейного МРС регулятора в matlab .

Библиогр.3, ил.4, формул 9.

УДК 004.056.5

Анализ требований к базам мысленных образов на основе экспериментов, проведенных с использованием различных методов формирования мысленных образов / С. М. Гончаров, Г. А. Квачук, А. Е. Боршевников // Вестник Морского государственного университета. Сер. Автоматическое управление, математическое моделирование и информационные технологии. – Владивосток: Мор. гос. ун-т, 2015. – Вып. 68.

В статье приведены и проанализированы основные виды мысленных образов и требования, которым они должны будут соответствовать. Особое внимание уделяется методам формирования и обработки мысленных образов. Показана перспективность подхода аутентификации на основе электроэнцефалограммы головного мозга.

Библиогр.3, ил. 4

УДК 004.056.5

Возможность применения двухфакторной аутентификации на основе биометрических данных / С. М. Гончаров, Г. А. Квачук, А. Е. Боршевников // Вестник Морского государственного университета. Сер. Автоматическое управление, математическое моделирование и информационные технологии. – Владивосток: Мор. гос. ун-т, 2015. – Вып. 68.

В статье рассматривается система, основанная на двухфакторной аутентификации, где первый фактор – это аутентификация по трёхмерной геометрии лица, а второй – это аутентификация по электроэнцефалограмме с использованием нейросетевого преобразователя «Биометрия - код доступа». Особое внимание уделяется преимуществам и недостаткам каждого из методов аутентификации.

Библиогр.3

УДК 681.536.6

Перспективы использования солнечных коллекторов в Приморском крае / В. Н. Забильский, Н. В. Сгребнев // Вестник Морского государственного универси-

тета. Сер. Автоматическое управление, математическое моделирование и информационные технологии. – Владивосток: Мор. гос. ун-т, 2015. – Вып. 68.

Приморский край – весьма перспективная территория для использования солнечной энергии при решении проблем отопления жилых и производственных зданий. Удачное географическое положение и малое количество пасмурных дней в течение отопительного периода (октябрь-май) делает привлекательным применение для этих целей солнечных коллекторов различных типов, а в сочетании с тепловыми насосами позволяет построить полностью автономные системы отопления.

Библиогр.5, ил. 11

УДК 621.372

Разработка устройства автоматического сопровождения спутника системы связи / Ю. В. Калачевская, С. Н. Павликов // Вестник морского государственного университета. Сер. Автоматическое управление, математическое моделирование и информационные технологии. – Владивосток: Мор. гос. ун-т, 2015. Вып. 68.

В статье приведено решение задачи повышения точности сопровождения направления антенны на спутник связи на примере системы VSAT. Данная технология может быть применена и для других антенных систем связи, телеметрии и др. Обоснован выбор варианта технического решения. Особое внимание уделено методике оценки технических и экономических показателей усовершенствованной системы спутниковой связи.

Библиогр. 6, табл. 1, ил. 1.

УДК 621.372

Метод защиты информации в радиоканале / О. В. Клева, С. Н. Павликов, Е. И. Убанкин, О. В. Солодков // Вестник морского государственного университета. Сер. Автоматическое управление, математическое моделирование и информационные технологии. – Владивосток: Мор. гос. ун-т, 2015. Вып. 68.

В статье приведено решение задачи повышения защиты информации в радиоканале, для этого были решены следующие задачи: уточнены классификация методов повышения информационной скрытности и критерии оценки их эффективности, разработана математическая модель радиоканала с пространственным кодированием и методика подготовки сигнала для пространственного кодирования.

Библиогр. 1, табл. 1, ил. 2.

УДК 681.3: 519.168

Оптимизация алгоритма поиска кратчайшего пути / С. Ф. Ключева // Вестник Морского государственного университета. Сер. Автоматическое управление, математическое моделирование и информационные технологии. – Владивосток: Мор. гос. ун-т, 2015. – Вып. 68.

В статье проанализированы точные и эвристические алгоритмы поиска кратчайших путей на графе. Показана реализация алгоритма Флойда – Уоршелла поиска кратчайших путей. Приведено описание и реализация авторского эмпирического алгоритма поиска кратчайшего пути для двух выбранных вершин графа.

Библиогр.5, ил. 5

УДК 621.396.932.1:629.783

Необходимая продолжительность экспериментов для оценки точности координат DGPS-приёмника / Ю. А. Комаровский // Вестник Морского государственного университета. Сер. Автоматическое управление, математическое моделирование и информационные технологии. – Владивосток: Мор. гос. ун-т, 2015. – Вып. 68.

Обсуждается проблема оценки точности работы в дифференциальном режиме судового приёмника системы Навстар GPS. Теоретически обосновывается сходимость точечных оценок абсолютных геодезических координат и средних квадратических отклонений. На основе результатов обработки экспериментальных наблюдений, выполненных в 2012 году вблизи DGPS-станции мыса Поворотного, показано, что оценки абсолютных координат сходятся во много раз медленнее, нежели оценки средних квадратических отклонений. Продемонстрирована неспособность морской дифференциальной подсистемы Навстар GPS устранять систематические погрешности обсервованных координат.

Библиогр.6, ил. 4

УДК 621.396.932.1:629.783

Свойства модуля вектора абсолютной скорости неподвижного судна вблизи DGPS-станции / Ю. А. Комаровский // Вестник Морского государственного университета. Сер. Автоматическое управление, математическое моделирование и информационные технологии. – Владивосток: Мор. гос. ун-т, 2015. – Вып. 68.

Обработка данных, полученных в ходе экспериментальных наблюдений за работой DGPS-приёмника GP-37, позволила обнаружить высокий уровень погрешностей в измерении скорости. На долю погрешностей в отсчётах модуля вектора абсолютной погрешности при неподвижном судне приходится 14% всего массива данных. Показана устойчивая закономерность изменения точности скорости в течение суток. Обнаружена статистически значимая корреляционная зависимость погрешностей измерения скорости от геометрии расположения спутников.

Библиогр.5, табл. 2, ил. 6

УДК 621.396.932.1:629.783

Аналитическое описание границы свободной от пролётов спутников области над Северным морским путём / Ю. А. Комаровский // Вестник Морского государственного университета. Сер. Автоматическое управление, математическое моделирование и информационные технологии. – Владивосток: Мор. гос. ун-т, 2015. – Вып. 68.

Изучение траекторий перемещения спутников системы Навстар GPS по небесной сфере относительно наблюдателя в Арктике позволило обнаружить обширную зону, в которой спутники отсутствуют в силу особенностей их орбит. В данной работе предложены точный и приближённый способы математического описания границы этой зоны. Дан сравнительный анализ алгоритмов вычислений координат границы. Полученные результаты закладывают количественную основу оценки эффективности применения в Арктике спутниковых навигационных систем Навстар GPS и ГЛОНАСС.

Библиогр.8, ил. 5

УДК 534.6.082/.084

Защита акватории от несанкционированного доступа аквалангиста с дыхательным аппаратом открытого типа / В. Т. Матецкий, П. В. Журбенко, М. С. Сартаков // Вестник Морского государственного университета. Сер. Автоматическое управление, математическое моделирование и информационные технологии. – Владивосток: Мор. гос. ун-т, 2015.– Вып. 68.

Анализируются закономерности генерации акустического шума всплывающими пузырями, с целью обнаружения аквалангиста с дыхательным аппаратом открытого типа, средствами пассивной эхолокации. Из анализа природы акустического шума делается вывод о наличии в нем скрытых периодичностей, связанных с нарушением устойчивости всплытия, при увеличении размеров пузырей выше критического. Периодичность, присутствующая в шуме, позволяет выделить шум дыхания аквалангиста из

природных, средствами спектрального анализа нестационарных процессов.

Библиогр. 5, ил. 5.

УДК 681.51

Идентификация параметров судна с использованием нелинейной модели первого порядка / Е. Б. Осокина // Вестник Морского государственного университета. Сер. Автоматическое управление, математическое моделирование и информационные технологии. – Владивосток: Мор. гос. ун-т, 2015. – Вып. 68.

Показана возможность использования метода скоростного градиента для идентификации нелинейной модели Норбина. Приводятся результаты моделирования в среде MATLAB Simulink.

Библиогр.4, ил. 4

УДК 681.51

Интервальный подход к моделированию динамики мирских подвижных объектов / Е. Б. Осокина // Вестник Морского государственного университета. Сер. Автоматическое управление, математическое моделирование и информационные технологии. – Владивосток: Мор. гос. ун-т, 2015. – Вып. 68.

Обсуждаются особенности математических моделей динамики морских подвижных объектов (МПО). Показано, что коэффициенты дифференциальных уравнений, описывающих движение МПО, характеризуются интервальной неопределённостью, которая должна быть учтена при выборе методов синтеза системы управления.

Библиогр.4

УДК 681.51

Исследование робастной устойчивости системы управления движением судна на основе линейной модели второго порядка / Е. Б. Осокина // Вестник Морского государственного университета. Сер. Автоматическое управление, математическое моделирование и информационные технологии. – Владивосток: Мор. гос. ун-т, 2015. – Вып. 68.

Для системы управления движением судна с параметрами, изменяющимися в определённых интервалах, на основе критерия Харитонов В.Л. исследуется её робастная устойчивость. Приводятся результаты моделирования в среде MATLAB Simulink.

Библиогр.3, ил. 2

УДК 621.372

Особенности методики решения изобретательских задач в телекоммуникациях / С. Н. Павликов, Е. И. Убанкин, Е. А. Шевцова, Д. А. Гордиенко, В. Н. Гряник // Вестник морского государственного университета. Сер. Автоматическое управление, математическое моделирование и информационные технологии. – Владивосток: Мор. гос. ун-т, 2015. Вып. 68.

В статье приведена усовершенствованная методика решения творческой задачи. В результате выполнения четырех этапов определены основные результаты решения творческой задачи в виде: сформированного противоречия, решаемой проблемы, актуальности, гипотезы, объекта, предмета, цели, задач исследования, математической модели, метода, методики исследования, плана эксперимента, методики анализа результатов экспериментальной проверки и апробации, выводы и заключения, рекомендаций по применению.

Библиогр. 4, табл. 4.

УДК 519.2

Обзор методов параметрической идентификации динамических объектов /С. С. Пашин, Д. А. Бушко // Вестник Морского государственного университета. Сер. Автоматическое управление, математическое моделирование и информационные технологии. – Владивосток: Мор. гос. ун-т, 2015. – Вып. 68.

В статье приведен обзор методов параметрической идентификации динамических объектов. Описаны этапы процедуры идентификации. Рассмотрен алгоритм параметрической идентификации в скользящем режиме, с использованием градиентного метода.

Библиогр.4, формул.5.

УДК 621.372

Радиоэлектронное устройство спасательного жилета / Ю. С. Рынгачев, С. Н. Павликов // Вестник морского государственного университета. Сер. Автоматическое управление, математическое моделирование и информационные технологии. – Владивосток: Мор. гос. ун-т, 2015. Вып. 68.

В статье приведено решение одной из проблем современности. Аварийность на флоте растет, количество смертных случаев увеличивается. Среди средств обеспечения безопасности наибольшую значимость приобретает индивидуальные устройства. В работе предложено техническое решение повышающее безопасность человеческой жизни в экстремальных условиях. Обоснован выбор варианта технического решения. Особое внимание уделено методике оценки технических и экономических показателей усовершенствованного устройства спасательного жилета.

Библиогр. 4, табл. 1, ил. 1.

УДК 621.372

Разработка технологии квадратурной обработки в системах связи / А. К. Стволовая, С. Н. Павликов // Вестник морского государственного университета. Сер. Автоматическое управление, математическое моделирование и информационные технологии. – Владивосток: Мор. гос. ун-т, 2015. Вып. 68.

В статье приведено решение задачи квадратурной обработки в системах связи. Обоснован выбор варианта технического решения. Особое внимание уделено методике сравнительной оценки предлагаемого и ранее разработанных технических решений.

Библиогр. 3, ил. 2.

УДК 681.51

Задачи идентификации динамических систем на основе нейронных сетей / Н. Р. Чижиков // Вестник Морского государственного университета. Сер. Автоматическое управление, математическое моделирование и информационные технологии. – Владивосток: Мор. гос. ун-т, 2015. – Вып. 68.

Рассмотрены задачи идентификации динамических систем. Возможный подход к решению задач состоит в применении нейронных сетей. Обсуждаются основные типы нейронных сетей и основная схема идентификации.

Библиогр.3, ил. 4

УДК681.51.001.51

Некоторые замечания по выбору стандартных вероятностных мер на примере «задачи обнаружения» / Шевцов А. В. // Вестник Морского государственного университета. Сер. Автоматическое управление, математическое моделирование и информационные технологии. – Владивосток: Мор. гос. ун-т, 2015. – Вып. 68.

При разработке математических и имитационных моделей различных систем или их объектов нередко становится актуальной проблема выбора даже в рамках одного и того же класса распределений, вероятностных мер, характеристик и параметров,

наиболее адекватно отображающих дух и содержание используемых в моделях случайных величин.

В работе на примере т. н. «задачи обнаружения (слежения)» показано разнообразие таких вероятностных мер, каждая из которых полностью характеризует случайную величину, но наилучшим образом отображающих разные ее грани.

Также показано, что при адекватном сопоставлении таких вероятностных мер и наиболее важных параметров моделируемой системы, получаются различные распределения, встречающиеся при описании технических, экономических, биологических систем.

Библиогр. 4.

УДК 621.391.019.3+681.51

Математическое моделирование радиоэлектронного противодействия при создании имитационной модели проверки помехозащищённости радиоканалов // А. В. Шевцов / Вестник Морского государственного университета. Сер. Автоматическое управление, математическое моделирование и информационные технологии. – Владивосток: Мор. гос. ун-т, 2015. Вып. 68.

В данной работе предложена методика создания моделей преднамеренных помех сигналам с дискретной модуляцией, предназначенных для тестирования моделируемых (проектируемых) радиоканалов в близких к реальным режимам работы.

Рассмотренные в работе простейшая импульсная модель и более сложная, схожая не только по принципу действия, но и по структуре, модель ХИП-последовательности, являются достаточно гибкими с позиций их применимости при моделировании достаточно широкого спектра радиоканалов, что связано с относительной независимостью этих моделей от параметров радиоканалов. Следует также отметить, что результаты реакции радиоканалов на действия этих моделей преднамеренных помех оказались схожими.

Библиогр. 8, ил. 3.

УДК 519.248

Надёжность системы из взаимодействующих элементов / А. В. Шевцов // Вестник Морского государственного университета. Сер. Автоматическое управление, математическое моделирование и информационные технологии. – Владивосток: Мор. гос. ун-т, 2015.– Вып. 68.

Расчёт надёжности сложных систем затруднён из-за разнообразия элементов и их связей, особенно если их отказы взаимозависимы. Точные и достаточно удобные для непосредственных расчётов соотношения удаётся получить лишь в частных случаях достаточно простых систем, а в более общих случаях приходится использовать более или менее точные оценки показателей надёжности. В данной работе предлагаются формулы для расчёта надёжности систем, состоящих из взаимозависимых элементов, для случая, когда априорно задана последовательность их срабатывания.

Библиогр. 3

УДК 621.372

Оценка технической и экономической эффективности проекта мобильного телефона 4g++ / Д. В. Штаев, С. Н. Павликов // Вестник морского государственного университета. Сер. Автоматическое управление, математическое моделирование и информационные технологии. – Владивосток: Мор. гос. ун-т, 2015. Вып. 68.

В статье приведено решение задачи повышения продуктивности работы мобильных систем связи. Обоснован выбор варианта технического решения. Особое внимание уделено методике оценки технических и экономических показателей системы нового поколения по отношению к 4G.

Библиогр. 4, табл. 2, ил. 2.

УДК 004.056.5

Возможности средств защиты информации от несанкционированного доступа в соответствии с приказом ФСТЭК России от 18 февраля 2013 г. № 21 / Н. А. Леонтьева, И. А. Щербинина // Вестник Морского государственного университета. Сер. Автоматическое управление, математическое моделирование и информационные технологии. – Владивосток: Мор. гос. ун-т, 2015. – Вып. 68.

Выбор мер защиты информации в информационных системах, обрабатывающих персональные данные представляет определённую сложность для специалистов практиков. Статья посвящена обзору возможностей наиболее распространённых средств защиты информации и соответствия их возможностей мерам по обеспечению безопасности персональных данных, определённым ФСТЭК России.

Библиогр.4, табл. 1

УДК 629.584

Вопросы разработки подводного аппарата / Ф. Д. Юрчик, Ю. М. Соболев // Вестник Морского государственного университета. Сер. Автоматическое управление, математическое моделирование и информационные технологии. – Владивосток: Мор. гос. ун-т, 2015. – Вып. 68.

В статье обсуждаются вопросы проектирования подводных аппаратов с изменяемой формой корпуса. Рассмотрен ряд устройств робототехники, оснащённых манипуляционными механизмами и приводами, позволяющими деформировать конструкции аппаратов. Приведены решения, позволяющие существенно увеличить быстродействие подводных аппаратов при погружении и подъёме, а также повысить ходкость и маневренность при обследовании объектов на заданном подводном горизонте.

Библиогр. 7.

ОГЛАВЛЕНИЕ

Д. В. Белоус. Распределённая система «Судоводитель».....	3
Д.А. Бушко, С.С. Пашин. Синтез МРС регулятора с использованием линейной модели судна	6
С. М. Гончаров, Г. А. Квачук, А. Е. Боршевников. Анализ требований к базам мысленных образов на основе экспериментов, проведенных с использованием различных методов формирования мысленных образов.....	10
С. М. Гончаров, Г. А. Квачук, А. Е. Боршевников. Возможность применения двухфакторной аутентификации на основе биометрических данных.....	14
В. Н. Забильский, Н. В. Сгребнев Перспективы использования солнечных коллекторов в Приморском крае.....	16
Ю. В. Калачевская, С. Н. Павликов. Разработка устройства автоматического сопровождения спутника системы связи.....	26
О. В. Клева, С. Н. Павликов, Е. И. Убанкин, О. В. Солодков. Метод защиты информации в радиоканале.....	29
С. Ф. Ключева. Оптимизация алгоритма поиска кратчайшего пути.....	34
Ю. А. Комаровский. Необходимая продолжительность экспериментов для оценки точности координат DGPS-приёмника.....	40
Ю. А. Комаровский. Свойства модуля вектора абсолютной скорости неподвижного судна вблизи DGPS-станции.....	47
Ю. А. Комаровский. Аналитическое описание границы свободной от пролётов спутников области над Северным морским путём.....	55
В. Т. Матецкий, П. В. Журбенко, М. С. Сартаков. Защита акватории от несанкционированного доступа аквалангиста с дыхательным аппаратом открытого типа.....	60
Е. Б. Осокина. Идентификация параметров судна с использованием нелинейной модели первого порядка.....	67
Е. Б. Осокина. Интервальный подход к моделированию динамики мирских подвижных объектов.....	71
Е. Б. Осокина. Исследование робастной устойчивости системы управления движением судна на основе линейной модели второго порядка.....	73
С. Н. Павликов, Е. И. Убанкин, Е. А. Шевцова, Д. А. Гордиенко, В. Н. Гряник. Особенности методики решения изобретательских задач в телекоммуникациях.....	79
С. С. Пашин, Д. А. Бушко. Обзор методов параметрической идентификации динамических объектов.....	84
Ю. С. Рынгачев, С. Н. Павликов. Радиоэлектронное устройство спасательного жилета.....	87
А. К. Стволовая, С. Н. Павликов. Разработка технологии квадратурной обработки в системах связи.....	90
Н. Р. Чижиков. Задачи идентификации динамических систем на основе нейронных сетей.....	94
А. В. Шевцов. Некоторые замечания по выбору стандартных вероятностных мер на примере «задачи обнаружения».....	98
А. В. Шевцов. Математическое моделирование радиоэлектронного противодействия при создании имитационной модели проверки помехозащищённости радиоканалов.....	103

А. В. Шевцов. Надёжность системы из взаимодействующих элементов.....	109
Д. В. Штаев, С. Н. Павликов. Оценка технической и экономической эффективности проекта мобильного телефона 4g+.....	112
Н. А. Леонтьева, И. А. Щербинина. Возможности средств защиты информации от несанкционированного доступа в соответствии с приказом ФСТЭК России от 18 февраля 2013 г. № 21.....	117
Ф. Д. Юрчик, Ю. М. Соболев. Вопросы разработки подводного аппарата....	125