Автоматизация. Современные Технологии

ЕЖЕМЕСЯЧНЫЙ МЕЖОТРАСЛЕВОЙ НАУЧНО-ТЕХНИЧЕСКИЙ ЖУРНАЛ

ИЗДАЁТСЯ С 1947 ГОДА

Том 71
3
2017

Главный редактор
Микрин Е.А. — д.т.н., проф., академик РАН, ОАО РКК «Энергия» им. С.П. Королёва

РЕДАКЦИОННАЯ КОЛЛЕГИЯ:
Белоусов В.Л. — д.э.н., проф., МГУПИ
Ван Сяофэн — д.т.н., проф., Нанкинский ун-т науки и технологии (КНР)
Ван Мэйлин — д.т.н., проф., Пекинский политехнический ун-т (КНР)
Дегтярёв Ю.И. — д.т.н., проф., МАИ
Елисеев В.А. — д.т.н., проф., Ин-т инновац.-технологич. менеджмента
Иванов А.П. — д.э.н., проф., МГУПС (МИИТ)
Криони Н.К. — д.т.н., проф., УГАТУ (г. Уфа)
Мальцева С.В. — д.т.н., проф., НИУ ВШЭ
Микаева С.А. — д.т.н., проф., МГУПИ
Неусыпин К.А. — д.т.н., проф., МГТУ им. Н.Э. Баумана
Нефёдов Е.И. — д.ф.-м.н., ИРЭ РАН
Никифоров В.М. — д.т.н., проф., ФГУП «НПЦАП им. Н.А. Пилюгина»
Осипова В.Г. — ООО «Изд-во Инновационное машиностроение» (заместитель главного редактора)
Пролетарский А.В. — д.т.н., проф., МГТУ им. Н.Э. Баумана
Румянцева О.Н. — генеральный директор ООО «Изд-во Инновационное машиностроение»
Ся Юаньцин — д.т.н., проф., Пекинский политехнический ун-т (КНР)
Фёдоров И.Б. — д.т.н., проф., академик РАН, президент МГТУ им. Н.Э. Баумана
Хэ Юн — д.т.н., проф., Нанкинский ун-т науки и технологии (КНР)
Шахнов В.А. — д.т.н., проф., член-кор. РАН, МГТУ им. Н.Э. Баумана
Шибанов Г.П. — д.т.н., проф., Гос. лётно-испытат. центр им. В.П. Чкалова
Янович Е.А. — д.э.н., проф., Кошалинский политехнич. ин-т (Польша)

Редактор — **Мымрина И.Н.**
Редактор — **Селихова Е.А.**
Компьютерная вёрстка — **Конова Е.В.**

Адрес редакции:
107076, Москва, Колодезный пер., д. 2А, стр. 2.
Тел.: (499) 268-41-77.
E-mail: ast@mashin.ru; astmashin@yandex.ru;
http://www.mashin.ru

УЧРЕДИТЕЛИ:

ОБЩЕСТВО
С ОГРАНИЧЕННОЙ ОТВЕТСТВЕННОСТЬЮ
"НАУЧНО-ТЕХНИЧЕСКОЕ ИЗДАТЕЛЬСТВО
"ИННОВАЦИОННОЕ МАШИНОСТРОЕНИЕ"

Журнал зарегистрирован 29 мая 2014 г.
ПИ № ФС77-58102 в Роскомнадзоре

Журнал входит в перечень утверждённых ВАК РФ изданий для публикации трудов соискателей учёных степеней, а также в систему Российского индекса научного цитирования (РИНЦ)

ООО "Издательство
"Инновационное машиностроение"

Адрес издательства:
107076, Москва, Колодезный пер., д. 2А, стр. 2.
Тел.: (495) 661-03-36

© Издательство "Инновационное машиностроение",
"Автоматизация. Современные технологии", 2017

СОДЕРЖАНИЕ

АВТОМАТИЗАЦИЯ НАУЧНО-ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИХ И ПРОИЗВОДСТВЕННЫХ ПРОЦЕССОВ

Гадаборшева Т.Б., Самохвалова Е.С., Кокин А.А., Чичиров К.О. Изучение аэродинамических характеристик дефлектора на лабораторно-экспериментальной установке 99

Федосин С.А., Байнев В.В. Разработка геометрических моделей для автоматизации процесса компьютерного проектирования осветительных приборов 102

СОВРЕМЕННЫЕ ТЕХНОЛОГИИ

Кофанов Ю.Н., Шалумов А.С., Шалумов М.А. АСОНИКА — современный инструмент автоматизации моделирования электроники на внешние воздействия 106

Елисеев А.В., Овсянников С.Н., Пшеничный С.А. Фильтрация информационного процесса в условиях параметрической неопределённости 113

Железникова О.Е., Кокинов А.М., Микаева С.А. Исследование влияния освещения светодиодами на состояние центрального звена органа зрения 121

СИСТЕМЫ И ПРИБОРЫ УПРАВЛЕНИЯ

Корнеев Н.В., Яницкий А.И. Мобильное телеуправление электромеханическими рекламными конструкциями . . . 124

Белик Б.В., Верба В.С., Меркулов В.И. Мониторинг подвижных источников радиоизлучений с бесстробовым отождествлением измерений 129

ЭКОНОМИКА И ОРГАНИЗАЦИЯ НАУЧНОЙ И ХОЗЯЙСТВЕННОЙ ДЕЯТЕЛЬНОСТИ

Орлова Е.В. Оценка системной эффективности технических решений в производственно-технологических системах 134

ОБЗОР ПЕРИОДИЧЕСКОЙ ПЕЧАТИ

По страницам журналов 144

CONTENTS

AUTOMATION OF SCIENTIFIC-RESEARCH AND PRODUCTION PROCESSES

Gadaborsheva T.B., Samokhvalova E.S., Kokin A.A., Chichirov K.O. The study of deflektor aerodynamic characteristics by using a laboratory-experimental arrangement 99

Fedosin S.A., Baynev V.V. The development of geometric models for computer design automation of the lighting 102

MODERN TECHNOLOGY

Kofanov Yu.N., Shalumov A.S., Shalumov M.A. ASONIKA — modern tool for electronics modeling automation of the electronics response on external influences . . . 106

Eliseev A.V., Ovsyannikov S.N., Pshenichny S.A. Filtering information process under parametric uncertainty 113

Zheleznikova O.E., Kokinov A.M., Mikaeva S.A. Investigation of the LEDs lighting effect on the state of the organ of sight central link 121

SYSTEMS AND CONTROL DEVICES

Korneev N.V., Yanitsky A.I. Mobile remote control of the electromechanical advertising constructions . . . 124

Belik B.V., Verba V.S., Merkulov V.I. Monitoring of radio emissions mobile sources with the identification of measurement without stroboscope 129

ECONOMICS AND ORGANIZATION OF SCIENTIFIC AND ECONOMIC ACTIVITIES

Orlova E.V. Evaluation the system effectiveness of technical solutions in production and technological systems 134

SURVEY OF PERIODICALS

Periodicals review 144

Журнал распространяется по подписке, которую можно оформить в любом почтовом отделении (индекс по каталогу "Роспечать" — 70537, по каталогу "Пресса России" — 27838, по каталогу российской прессы "Почта России — 60267) или непосредственно в издательстве по e-mail: realiz@mashin.ru, на сайте www.mashin.ru (без почтовых наценок, с любого месяца, со своего рабочего места); телефон для справок: (495) 785-60-69

Сдано в набор 26.12.2016.
Подписано в печать 22.02.2017.
Формат 60 × 88 1/8. Бумага офсетная.
Усл. печ. л. 5,88. Цена свободная.

Отпечатано в ООО "Канцлер"
150008, г. Ярославль, ул. Клубная, д. 4, кв. 49.
Оригинал-макет: ООО "Адвансед солюшнз".
119071, г. Москва, Ленинский пр-т, д. 19, стр. 1. Сайт: www.aov.ru

Перепечатка материалов из журнала "Автоматизация. Современные технологии" возможна при обязательном письменном согласии редакции журнала. При перепечатке материалов ссылка на журнал "Автоматизация. Современные технологии" обязательна. За содержание рекламных материалов ответственность несёт рекламодатель

© Издательство "Инновационное машиностроение", "Автоматизация. Современные технологии", 2017

УДК 53.082.36:697.921.4

Т.Б. Гадаборшева, канд. техн. наук, доц., **Е.С. Самохвалова, А.А. Кокин**
(Волгоградский государственный технический университет (ИАиС ВолГТУ)),
К.О. Чичиров, канд. техн. наук, доц.
(Пензенский государственный университет архитектуры и строительства (ПГУАС))

kandy.maxca@yandex.ru

ИЗУЧЕНИЕ АЭРОДИНАМИЧЕСКИХ ХАРАКТЕРИСТИК ДЕФЛЕКТОРА НА ЛАБОРАТОРНО-ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНОЙ УСТАНОВКЕ

Рассмотрена созданная лабораторно-экспериментальная установка для исследования основных характеристик работы дефлекторов: скорости всасывания, скорости выброса, эффективности при различных ветровых нагрузках. Изучено изменение работы дефлекторов при различных температурах. На лабораторной установке исследованы модели дефлекторов "ЦАГИ" и "Шанар".

Ключевые слова: установка; дефлектор; характеристики; скорость внешнего потока воздуха; скорость всасывания; температура; эффективность.

The established laboratory-experimental arrangement for the study the main characteristics of the deflectors work: absorption rate, ejection speed, efficiency at different wind loads is considered. The deflectors work change at different temperatures is studied. The deflector models "TsAGI" and "SHANAR" are investigated by using a laboratory arrangement.

Keywords: arrangement; deflector; characteristics; flow rate of outside air; absorption rate; temperature; efficiency.

К сожалению, в России вопросам перемещения воздушных масс в помещении и архитектурной аэродинамики наружного воздуха, а следовательно, и дефлекторам не уделяется достаточного внимания.

Дефлектор (от лат. deflecto — отклонять) — аэродинамическое устройство, устанавливаемое над вентиляционным каналом, дымоходом для усиления тяги в канале за счёт эффекта Бернулли: чем больше скорость движения потока воздуха в поперечном сечении сужающегося канала, тем меньше статическое давление в этом сечении [1].

Безразмерные характеристики дефлекторов могут быть получены их продувкой в аэродинамической трубе. При этом необходимо измерять скорость и расход воздуха во всасывающем патрубке дефлектора, а также скорость потока в аэродинамической трубе. Современным является способ измерения скорости при помощи термоанемометра, когда используется зависимость электрического сопротивления терморезистора от скорости воздушного потока. Термоанемометрами также называются приборы, принцип действия которых основан на зависимости между количеством теплоты, отдаваемой каким-либо нагретым телом, помещённым в поток воздуха или газа, и скоростью потока, в котором это тело находится. Если известно отношение скорости потока в месте установки приёмника термоанемометра к средней скорости потока, эти приборы могут применяться и для измерения расхода. Соответственно, для "чистоты" эксперимента необходимо проводить калибровку основных измеряющих приборов, в том числе и преобразователя скорости. Калибровку проводили с помощью термоанемометра.

На рис. 1 представлена схема калибровки первичного преобразователя скорости. Калибровка осуществляется следующим образом. С помощью воздуходувки *5* создается движение воздуха. Воздух движется внутри всасывающего патрубка *1*, ресивера *3*, участка воздуховода *9*, через сужающее устройство. Перед диафрагмой *4* и за ней "отбирают" статические давления через стенку воздуховода *9* и подают эти давления на U-образный жидкостный манометр. Давление перед диафрагмой P_1 больше, чем давление за диафрагмой P_2. Возникший перепад давлений $\Delta P = P_1 - P_2$ измеряется U-образным манометром *10* и отсчитывается по шкале *11*. Чем больше скорость воздуха во всасывающем патрубке *1*, тем больше пере-

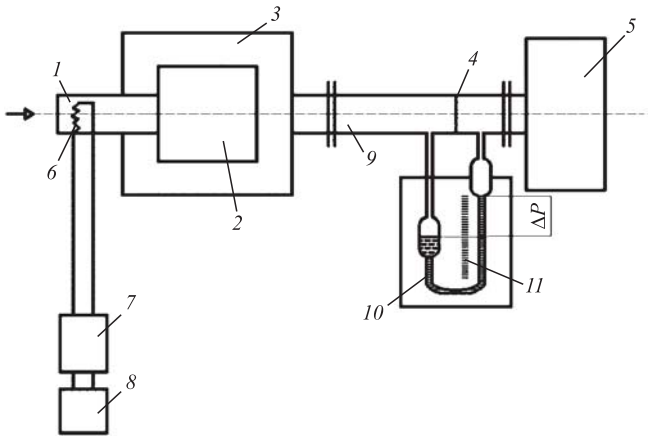


Рис. 1. Схема калибровки первичного преобразователя скорости:
1 — всасывающий патрубок дефлектора; *2* — дефлектор; *3* — ресивер; *4* — диафрагма; *5* — воздуходувка (вентилятор); *6* — терморезистор с подогревом; *7* — микроамперметр; *8* — источник питания; *9* — участок воздуховода; *10* — U-образный манометр; *11*— шкала манометра

пад давлений ΔP. Одновременно измеряется скорость воздуха во всасывающем патрубке *1* с помощью полупроводникового термоанемометра ЭА-2М. Измерение скорости воздушного потока прибором ЭА-2М основано на измерении температуры и сопротивления подогревного терморезистора, помещённого в поток, в зависимости от скорости потока. В ходе эксперимента изменяют расход воздуха. Для каждого значения расхода воздуха, определяемого по реометру, фиксируют значение силы тока с помощью микроамперметра *7* и расход по шкале манометра *11*. Затем строят график зависимости

$$I = f(L),$$

где I — сила тока, определяемая с помощью микроамперметра, мкА; L — расход воздуха, задаваемый режимом работы вентилятора, м^3/с.

Однако зависимостью $I = f(L)$ неудобно пользоваться. Поэтому на её основании строят зависимость

$$I = f(v),$$

где v — скорость воздуха во всасывающем патрубке, м/с.

После завершения калибровки дефлектор вынимают из ресивера *3* и устанавливают в аэродинамическую трубу для продувки (рис. 2). Она состоит из коллектора *1*, воздуховода *2* диаметром 300 мм, вентилятора *3*, диафрагмы *4*. Коллектор *1* спрофилирован по дуге окружности и обеспечивает плавное (без срывов) вхождение воздуха внутрь воздуховода *2*. Осевой вентилятор *3* создаёт движение внутри воздуховода *2*. Для предотвращения закручивания потока перед вентилятором установлены спрямляющие элементы *10* — плоские пластины из листовой стали толщиной 1 мм. Расход воздуха изменяется с помощью диафрагмы *4*.

Дефлекторы различной конструкции продуваются в аэродинамической трубе при различных скоростях набегающего потока. Изменение расхода воздуха и скорости осуществляется с помощью диафрагм, имеющих отверстия различного диаметра. На каждом режиме продувки, определяемом скоростью движения воздуха в аэродинамической трубе, измеряют силу тока с помощью микроамперметра. Используя зависимость $I = f(L)$, полученную при калибровке, определяют расход воздуха L, протекающего через всасывающий патрубок [2]. Сконструированная лабораторно-экспериментальная установка для исследования основных характеристик дефлекторов и режимов их работы представлена на рис. 3.

Ниже приведены полученные экспериментально данные для моделей дефлектора "ЦАГИ"

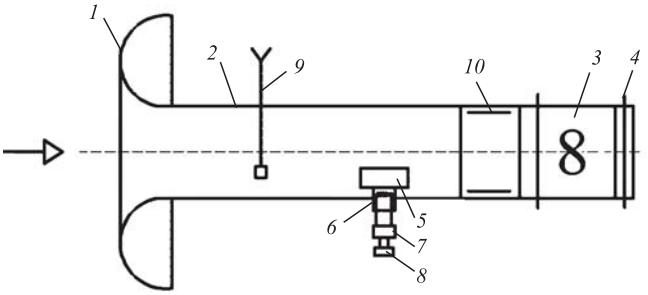


Рис. 2. Аэродинамическая труба с установленным для продувки дефлектором:
1 — коллектор; *2* — воздуховод; *3* — вентилятор; *4* — диафрагма; *5* — дефлектор; *6* — терморезистор; *7* — микроамперметр; *8* — источник питания; *9* — термоанемометр ТТМ-2; *10* — спрямляющий элемент (струевыпрямитель)

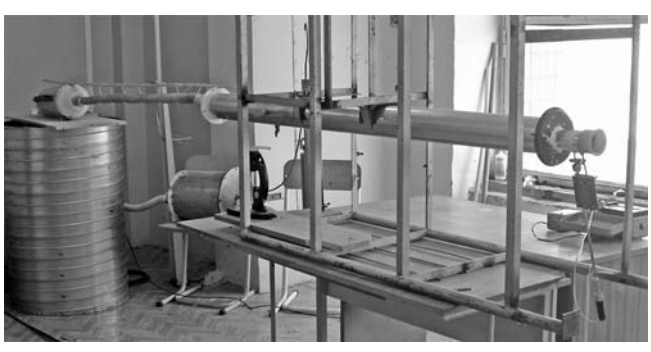


Рис. 3. Лабораторно-экспериментальная установка

и усовершенствованного дефлектора "Шанар". Исследования проводились при скоростях внешнего набегающего потока 0,2, 0,6 и 1 м/с.

Дефлектор "ЦАГИ" (испытания проводились при горизонтальном и вертикальном положениях дефлектора). Результаты исследований при скорости внешнего набегающего воздушного потока 0,2 м/с представлены в виде графика на рис. 4, *а*. Наблюдается условно устойчивый резонансный режим работы термоанемометра при минимальном изменении скорости всасываемого (внутреннего) воздушного потока в патрубке. Причём с повышением подвижности внешнего воздушного потока в воздуховоде показатели термоанемометра остаются стабильно устойчивыми.

Результаты исследований при скорости внешнего набегающего воздушного потока 0,6 м/с представлены в виде графика на рис. 4, *б*. Также наблюдается увеличение скорости всасывания воздуха патрубком дефлектора соразмерно увеличению скорости внешнего воздушного потока.

Результаты исследований при скорости внешнего набегающего воздушного потока 1 м/с представлены в виде графика на рис. 4, *в*. Данные этого эксперимента также наглядно демонстрируют зависимость увеличения скорости всасываемого дефлектором воздуха от скорости внешнего набегающего потока.

Анализируя полученные данные, можно сделать вывод об устойчивой работе дефлектора "ЦАГИ" даже при минимальной скорости внешнего набегающего потока, при этом скорость воздуха в патрубке будет примерно равной скорости внешнего воздушного потока, т.е. эффективность работы дефлектора "ЦАГИ" возрастает при значительном увеличении скорости внешнего потока.

Дефлектор "Шанар" (испытания проводились только при горизонтальном положении дефлектора). Результаты испытаний представлены в виде графика на рис. 5. Полученные в ходе эксперимента данные для дефлектора конструкции "Шанар" также подтверждают, что показатели термоанемометра остаются стабильно устойчивыми и демонстрируют зависимость увеличения скорости всасывания патрубком дефлектора от скорости внешнего набегающего воздушного потока, но при этом скорость всасываемого патрубком воздуха, т.е. эффективность работы дефлектора, значительно повышается даже при незначительном увеличении скорости внешнего набегающего воздушного потока.

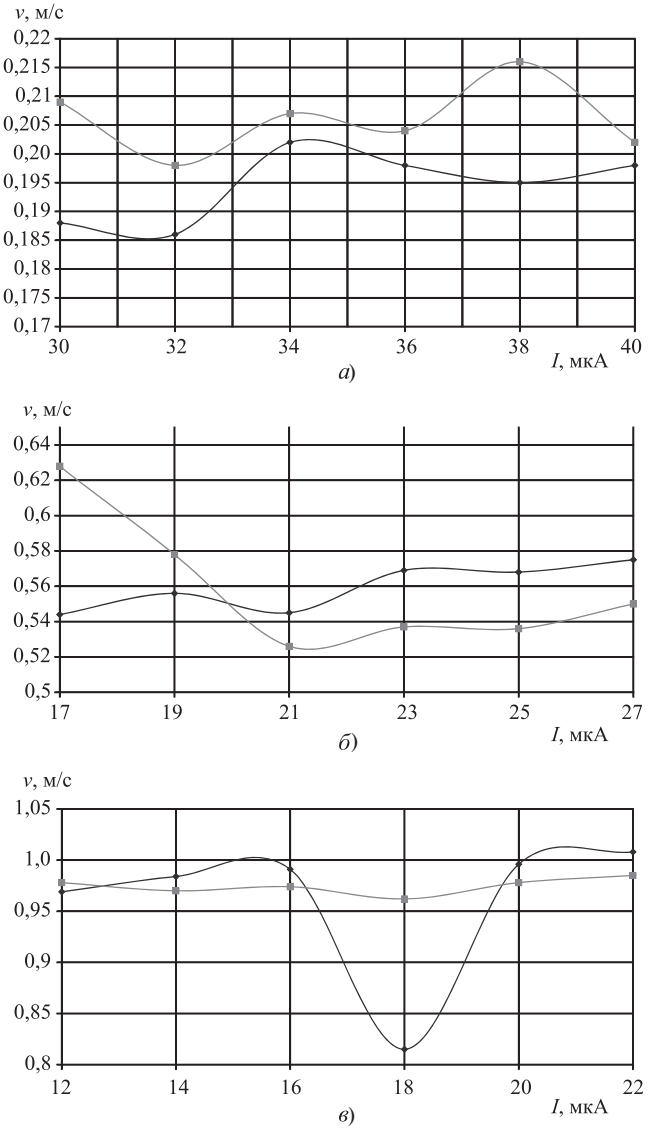


Рис. 4. Результаты испытаний дефлектора "ЦАГИ" при различных скоростях набегающего потока:
а — 0,2 м/с; *б* — 0,6 м/с; *в* — 1 м/с; -♦- горизонтальное положение дефлектора; -■- вертикальное положение дефлектора

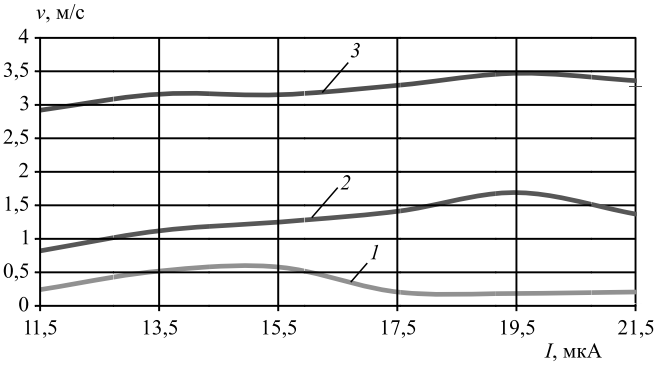


Рис. 5. Результаты испытаний дефлектора "Шанар" при различных скоростях набегающего потока:
1 — 0,2 м/с; *2* — 0,6 м/с; *3* — 1 м/с

Используя данную методику, определяют характеристики дефлекторов, как существующих, так и дорабатываемых, что в дальнейшем упрощает их использование вне зависимости от области применения: в транспорте, в гражданских зданиях или промышленных сооружениях. Это позволяет существенно расширить область применения дефлекторов при минимальных капитальных и эксплуатационных вложениях. Также возможно проведение сравнительного анализа различных конструкций дефлекторов для определения оптимального конструкторского решения для дефлекторов систем общеобменной организованной вентиляции.

Библиографические ссылки

1. **Гадаборшева Т.Б., Самохвалова Е.С.** Установка для исследования характеристик дефлектора // Актуальные проблемы гуманитарных и естественных наук. 2014. № 3-1. С. 41—44.

2. **Гадаборшева Т.Б., Самохвалова Е.С., Чичиров К.О.** Краткая история развития и применения дефлекторов в России // Проблемы энергосбережения в промышленном и жилищно-коммунальном комплексах: Сб. тр. XVI Междунар. науч.-практ. конф. / под ред. Т.И. Королёвой. 2015, Пензенский государственный университет архитектуры и строительства, Институт инженерной экологии, Общество "Знание" России, Приволжский дом знаний, "Газспецстрой". С. 61—69.

УДК 681.5

С.А. Федосин, канд. техн. наук, проф., **В.В. Байнев**
(Институт электроники и светотехники, Национальный исследовательский Мордовский государственный университет им. Н.П. Огарёва)

fedosinsa@freemail.mrsu.ru

РАЗРАБОТКА ГЕОМЕТРИЧЕСКИХ МОДЕЛЕЙ ДЛЯ АВТОМАТИЗАЦИИ ПРОЦЕССА КОМПЬЮТЕРНОГО ПРОЕКТИРОВАНИЯ ОСВЕТИТЕЛЬНЫХ ПРИБОРОВ

Исследованы возможности трёхмерного моделирования при проектировании современных осветительных приборов, разработаны геометрические модели для расчёта их оптических систем, которые выполняют основную роль перераспределения света от его источника в осветительных приборах. Оптические системы отличаются устройством, способами функционирования, типами кривых сил света и методами расчёта. Качество и назначение осветительных приборов определяются типом светораспределения, в связи с чем оптический расчёт сводится к трассировке световых лучей, испущенных источниками света, на основании геометрических моделей. Получена модель геометрии оптической системы, которая позволяет задавать форму осветительного прибора для дальнейшего проектирования и обеспечивает быстрый и точный светотехнический расчёт. В разработанном алгоритме, построенном на эвристическом анализе последовательного наложения стандартных форм на поверхность сетки, использован метод опорных векторов. Такой подход даёт существенный выигрыш в скорости расчёта характеристик моделей осветительных приборов.

Ключевые слова: осветительный прибор; автоматизация; моделирование; проектирование; программное обеспечение; оптическая система; трассировка; триангуляция.

The possibilities of three-dimensional modeling when designing the modern lighting are researched. The geometric models for the calculation of the lighting optical systems that perform the main role at the light redistribution from its source in the lighting fixtures are developed. Optical systems feature construction, methods of functioning, types of light intencity curves and the calculation methods. Quality and purpose of the lighting are determined by the type of light distribution. In this connection the optical calculation is reduced to trace light rays emitted by the light sources, based on the geometric model. A model of the optical system geometry, which allows you to specify the shape of the lighting fixture for further design and provides fast and accurate lighting calculations is received. In the developed algorithm, builted on heuristic analysis of the standard forms consistent imposition on the grid surface, the method of support vector is used. This approach provides a significant gain in calculation rate of the lighting models.

Keywords: lighting fixture; automation; modeling; designing; software; optical system; trace; triangulation.

Введение. Постановка задачи. Осветительные приборы — широкая группа светотехнических изделий, отвечающая комплексу сложных требований: специальных светотехнических, безопасности и надёжности, технической эстетики и др. Осветительным прибором (ОП) (или светильником) называется устройство, предназначенное для освещения, содержащее источник света (лампу) и светотехническую арматуру (рис. 1).

Основную роль перераспределения и преобразования света от источника света (ИС) играет оптическая система ОП, состоящая из элементов, участвующих в трансформации света. Среди оптических систем светильников наибольшее применение находят отражательные оптические системы — зеркальные, диффузные и матовые, действующие на основании законов зеркального, диффузного и направленно-рассеянного отражения. Отражатель в зависимости от среды и предъявляемых к освещению требований должен выполнять ряд функций, в частности, рассеивать, распределять и направлять свет [1]. В основных видах зеркальных отражателей используются оптические свойства параболических, эллиптических, гиперболических, цилиндрических и плоских зеркальных поверхностей [2].

Отличия форм отражателей светильников вызваны требуемыми кривыми силы света (КСС), т.е. сечением фотометрического тела определённой плоскостью, как правило, поперечным и продольным (рис. 2), а распределяется поток света в пространстве трёхмерным фотометрическим телом.

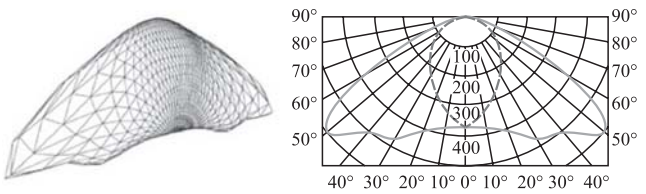
В светильниках применяют также и комбинированные системы, с линейными ИС — несимметричные отражатели: параболоцилиндрические, гиперболоцилиндрические и др.

На современном этапе светотехнического производства всё большее применение находят различные компьютерные технологии, в частности, трёхмерное моделирование. Осветительный прибор необходимо не только спроектировать, но и исследовать его характеристики на виртуальной модели, прежде чем начать производство приборов. Такой подход значительно упрощает процесс, сокращая затраты на изготовление опытных образцов [3].

Одной из важнейших характеристик, которые определяют качество и назначение ОП, является светораспределение [1]. В общем случае его расчёт сводится к трассировке световых лучей (рис. 3), испущенных ИС [4, 5]. Суммарный световой поток определяется типом и

а) *б*)

Рис. 1. Типовая конструкция уличного светильника с дуговыми разрядными лампами (ДРЛ) (*а*) и светодиодами (*б*)



а) *б*)

Рис. 2. Вид фотометрического тела (*а*) и КСС (*б*), характерных для светильников уличного освещения

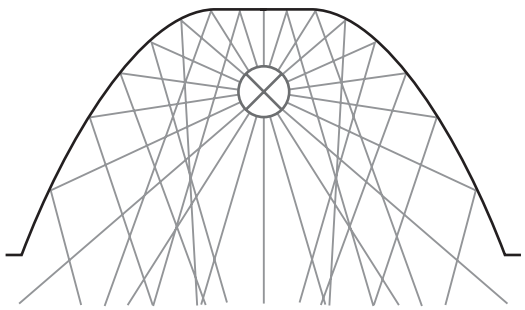


Рис. 3. Трассировка лучей через оптическую систему ОП

мощностью ИС. Форма фотометрического тела в большей степени зависит от геометрии ОП.

Если принимать источники света за материальные точки, то для некоторых ОП с простыми (например, параболическими или сферическими) отражателями отсутствует необходимость в применении компьютерного трёхмерного моделирования, так как весь анализ сводится к математическим вычислениям [4]. Но найти способ для аналитического расчёта характеристик специализированного ОП особой формы достаточно сложно. В связи с этим целью работы стала разработка такой модели геометрии, которая позволяла бы задавать форму ОП для дальнейшего проектирования и обеспечивала быстрый и точный светотехнический расчёт.

Теоретические аспекты реализации задачи. Для решения поставленной задачи был использован так называемый приём "разделяй и властвуй", хорошо известный программистам. Его суть заключается в том, чтобы разделить каждую деталь ОП на такие части, каждую из которых можно описать какой-либо элементарной формой (плоскость, конус, сфера, тор, параболоид вращения и др.). Они легко задаются аналитическими выражениями, где точки пересечения луча с поверхностью вычисляются при помощи системы из нескольких уравнений.

Например, для нахождения координат точки P (рис. 4) — пересечения луча с поверхностью сферы — необходимо найти решение системы, состоящей фактически из трёх независимых уравнений:

$$\begin{cases} (x - S_x)^2 + (y - S_y)^2 + (z - S_z)^2 = R^2; \\ \dfrac{x - A_x}{a_x} = \dfrac{y - A_y}{a_y} = \dfrac{z - A_z}{a_z}, \end{cases}$$

где x, y, z — соответствующие координаты точки пересечения; S — центр сферы; R — её радиус; A — начало луча; a — его направление.

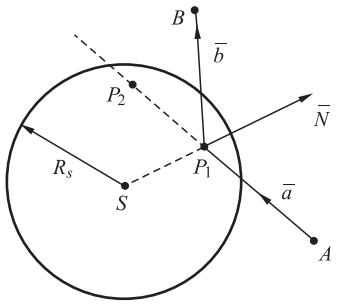


Рис. 4. Пересечение луча со сферой

Начало координат переносится в центр сферы:

$$x' = x - S_x; \quad y' = y - S_y; \quad z' = z - S_z;$$
$$A'_x = A_x - S_x; \; A'_y = A_y - S_y; \; A'_z = A_z - S_z.$$

И система преобразуется к виду:

$$\begin{cases} (x')^2 + (y')^2 + (z')^2 = R^2; & (1) \\ \dfrac{x' - A'_x}{a_x} = \dfrac{y - A'_y}{a_y} = \dfrac{z' - A'_z}{a_z}, & (2) \end{cases}$$

где A' — начало луча в новой системе координат.

Выбираем переменную, для которой соответствующая составляющая вектора направления (a_x, a_y, a_z) наибольшая, и через неё из (2) рассчитываем две остальные:

$$y' = \frac{a_y}{a_x}(x' - A'_x) + A'_y;$$

$$z' = \frac{a_z}{a_x}(x' - A'_x) + A'_z.$$

Затем y' и z' подставляем в (1), и после преобразования в общем случае получаем квадратное уравнение:

$$(a_x^2 + a_y^2 + a_z^2)x'^2 + 2(a_x(a_y A'_y + a_z A'_z) -$$
$$-A'_x(a_y^2 + a_z^2))x' + (a_x^2(A'^2_y + A'^2_z - R^2) -$$
$$-2a_x A'_x(a_y A'_y + a_z A'_z) + A'^2_x(a_y^2 + a_z^2)) = 0.$$

Отсутствие корней означает, что луч и сфера не пересекаются, при наличии одного корня — луч лишь касается поверхности сферы, но никак с ней не взаимодействует. Если имеется два корня, то из них выбирают ближайший к началу луча по его ходу и рассчитывают вектор нормали N как направление на точку пересечения из начала координат. Положение точки A симметрично отражается относительно вектора N и получают координаты точки B, через которую пройдёт луч после отражения от сферы. Затем необходимо вернуться к первоначальной системе координат.

Аналогичным образом можно получить аналитический метод определения точки пересечения луча с любыми другими поверхностями.

Практическая реализация задачи. В компьютерной графике для моделирования трёхмерных объектов используются только три-

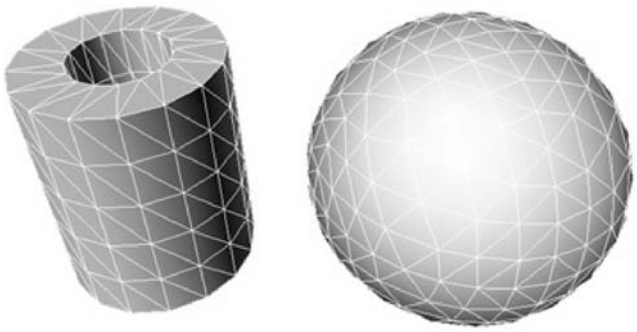


Рис. 5. Примеры триангуляционных сеток

ангуляционные сетки (рис. 5). Чтобы отобразить поверхность, её разбивают на плоские треугольники, при этом, чем их больше, тем точнее модель. Такой способ моделирования позволяет очень тонко настраивать её форму, задавая координаты вершин напрямую. Однако он не подходит для светотехнических расчётов. Например, намного быстрее найти пересечение луча с частью сферы, заданной аналитически, чем со сферой, состоящей из нескольких тысяч треугольников.

Получается, что проектировать модели ОП проще с помощью триангуляционных сеток, а исследовать — с помощью аналитически задаваемых поверхностей. В связи с этим главной задачей стала разработка алгоритма преобразования одного способа задания в другой, или аппроксимации.

Сначала необходимо указать степень приближения, т.е. максимальное среднеквадратическое отклонение точек треугольников сетки от предполагаемой формы. Затем алгоритм начинает эвристический анализ, основанный на последовательном наложении стандартных форм на поверхность сетки. По окончании расчёта предлагается один или несколько вариантов разбиения, удовлетворяющих заданной точности. Пользователь может выбрать наиболее подходящий и подкорректировать результат (рис. 6).

В данном алгоритме для разделения модели на составляющие части использован метод опорных векторов (Support Vector Machine). Во многих реальных случаях большую часть сетки удаётся аппроксимировать аналитическими поверхностями, дающими существенный выигрыш в скорости дальнейших расчётов. Оставшуюся часть выгоднее вовсе не аппроксимировать, а оставлять в том же виде.

Однако некоторые конструктивные элементы имеют шероховатую и неровную поверхность, например, светорассеиватели. В этом случае их нельзя заменять гладкими поверхностями, но и моделировать все неровности при помощи триангуляционных сеток нерационально. Здесь необходимо рассматривать модель материалов, что не является объектом рассмотрения в данной статье.

Заключение. В результате исследований рассмотрены возможные способы геометрического моделирования осветительных приборов, а также разработан алгоритм аппроксимации модели, заданной при помощи триангуляционной сетки, в модель, состоящую из поверхностей, которые можно задавать аналитически. Преимущество такого подхода заключается в том, что он даёт существенный выигрыш в скорости расчёта характеристик моделей осветительных приборов.

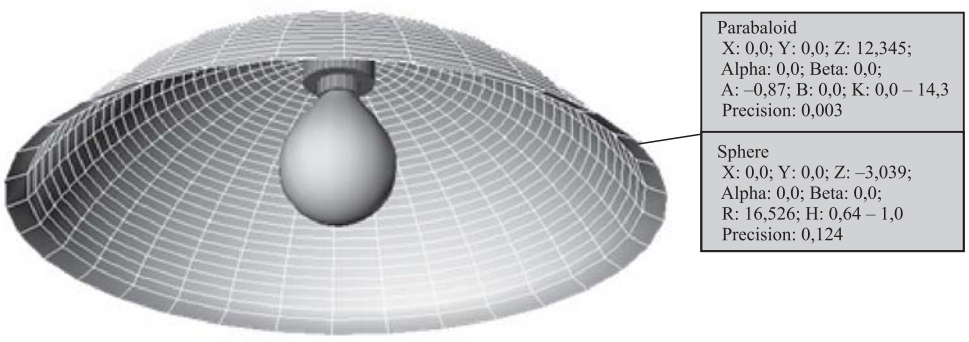


Рис. 6. Аппроксимация поверхности оптической системы параболоидом или сферой

Библиографические ссылки

1. **Байнева И.И., Байнев В.В.** Автоматизация процесса проектирования световых приборов // Автоматизация и современные технологии. 2014. № 2. С. 3—9.

2. **Трембач В.В.** Световые приборы. М.: Высшая школа, 1990. 463 с.

3. **Байнева И.И., Байнев В.В.** Автоматизация светотехнического проектирования: сб. науч. тр. SWorld. Вып. 1. Т. 8. Одесса: Куприенко, 2013. С. 36—38.

4. **Байнева И.И., Байнев В.В.** Автоматизированная система для разработки энергоэффективных световых приборов // Вестник Мордовского университета. 2014. № 1—2. С. 171—176.

5. **Байнева И.И., Байнев В.В.** Математические и программные средства моделирования световых приборов // Системы и средства информатики. 2012. Т. 22. № 2. С. 95—105.

УДК 621.396.6.019.3

Ю.Н. Кофанов, д-р техн. наук, проф.
(Национальный исследовательский университет "Высшая школа экономики", г. Москва),
А.С. Шалумов, д-р техн. наук, проф., **М.А. Шалумов,** канд. техн. наук
(Владимирский филиал РАНХиГС)

ALS140965@mail.ru

АСОНИКА — СОВРЕМЕННЫЙ ИНСТРУМЕНТ АВТОМАТИЗАЦИИ МОДЕЛИРОВАНИЯ ЭЛЕКТРОНИКИ НА ВНЕШНИЕ ВОЗДЕЙСТВИЯ

Рассмотрены проблемы, задачи анализа и моделирования надёжности электронных компонентов и радиоэлектронных средств с учётом тепловых, механических, электромагнитных и других воздействий, а также проведён анализ программного обеспечения.

Ключевые слова: радиоэлектронное средство; моделирование; электронный компонент; физические процессы; надёжность; механические воздействия; тепловые воздействия; электромагнитные воздействия.

The problems, analysis tasks and reliability modeling of electronic components and radio-electronic means, taking into account the thermal, mechanical, electromagnetic and other influences are considered. A conducted analysis software analysis is conducted too.

Keywords: radio-electronic means; modeling; electronic component; physical processes; reliability; mechanical influences; thermal influences; electromagnetic influences.

Вся современная техника (ракеты, самолёты, танки, корабли, подводные лодки, автомобили) обязательно включает электронную аппаратуру, которая состоит из печатных плат, микросхем и др. И если одна из них не работает, то не функционирует вся техника.

Работу аппаратуры значительно ухудшают воздействия вибраций, ударов, тепла, электромагнитных полей, радиации и др. Поэтому важным этапом создания электронной аппаратуры являются её испытания на все воздействия. Испытания очень дороги, требуют много времени и часто не позволяют правильно прогнозировать состояние электронной аппаратуры в реальных условиях, особенно в критических режимах.

В последнее время произошло большое количество катастроф космических аппаратов (ГЛОНАСС, "Фобос-Грунт", "Меридиан", ПРОТОН и др.). Катастрофы обусловлены тем, что фактически не проводится моделирование электронных приборов космических аппаратов на воздействие внешних дестабилизирующих факторов, в том числе в критических ситуациях. Однако моделирование электронных приборов космических аппаратов невозможно без наличия необходимого специализированного программного обеспечения и базы данных электронных компонентов и конструкционных материалов. Ниже рассматриваются такая система и база данных, т.е. разработана автоматизированная система обеспечения надёжности и качества аппаратуры (АСОНИКА) [1—16].

В течение многих лет создавалась и апробировалась на многих российских предприятиях, прежде всего оборонной, космической и авиационной отраслей, технология двойного назначения. Суть технологии состоит в следующем: используя систему АСОНИКА, можно с помощью компьютера предвидеть и предотвращать всевозможные отказы ещё не изготовленной электронной аппаратуры, предназначенной для функционирования на военных, космических и гражданских объектах.

Применение системы АСОНИКА позволит автоматизировать проектирование сложных РЭС в условиях воздействия внешних дестабилизирующих факторов в соответствии с требованиями CALS-технологий на этапах проектирование—производство—эксплуатация и тем самым обеспечить:

повышение качества проектирования сложных РЭС;

исключение критических ошибок при проектировании сложных РЭС;

сокращение времени и трудоёмкости работ по проектированию сложных РЭС;

достижение полного охвата всех этапов жизненного цикла продукции от маркетинговых исследований до утилизации в соответствии со стандартами CALS-технологий;

учёт наиболее полного спектра воздействующих факторов (механических, тепловых, электромагнитных, радиационных);

снижение сроков и затрат на проектирование за счёт доступности разработчику сложных РЭС предлагаемых программных средств и адекватности результатов моделирования.

Актуальность задач, связанных с автоматизацией проектирования и моделирования РЭС, в том числе ракетно-космической и военной техники, была рассмотрена на выставке 11 декабря 2009 г. в г. Санкт-Петербурге. Важность данного проекта для отечественной промышленности можно посмотреть на сайте www.asonika-online.ru.

Из Указа Президента РФ от 7 мая 2012 г. № 603 "О реализации планов (программ) строительства и развития Вооруженных Сил Российской Федерации, других войск, воинских формирований и органов и модернизации оборонно-промышленного комплекса" следует, что "планируется внедрить систему управления полным индустриальным циклом производства вооружения, военной и спецтехники — от моделирования и проектирования до серийного выпуска изделий, обеспечения их эксплуатации и дальнейшей утилизации".

Данная статья предоставляет разработчикам РЭС возможность познакомиться с системой АСОНИКА и принять обоснованное решение о её выборе для применения в процессе проектирования РЭС.

Система АСОНИКА позволяет осуществлять автоматизированное проектирование и комплексное компьютерное моделирование высоконадёжных РЭС в соответствии с требованиями CALS-технологий на этапах проектирование—производство—эксплуатация. Предлагаемая технология предназначена для применения при проектировании РЭС и замены испытаний компьютерным моделированием на ранних этапах проектирования, что позволяет значительно сократить количество испытаний и возможных итераций при проектировании РЭС.

Система АСОНИКА предназначена для решения четырёх основных проблем, существующих при разработке современных РЭС:

предотвращения возможных отказов при эксплуатации на ранних этапах проектирования за счёт комплексного моделирования разнородных физических процессов;

обеспечения безопасности человека при полётах на самолётах (предотвращения авиакатастроф) за счёт комплексного автоматизированного анализа системы управления самолётом на основе созданной электронной модели при всех видах внешних дестабилизирующих факторов, в том числе в критических режимах;

сокращения сроков и затрат на проектирование за счёт доступности разработчику аппаратуры предлагаемых программных средств и адекватности результатов моделирования;

автоматизации документооборота и создания электронной модели РЭС за счёт интеграции предлагаемых программных средств в рамках PDM-системы хранения и управления инженерными данными и жизненным циклом аппаратуры.

Эксплуатация бортовых РЭС характеризуется воздействием на них совокупности жёстких внешних факторов, которые действуют одновременно, что приводит к отказам системного характера. Такие отказы трудно выявить при испытаниях, так как нет стендов, позволяющих комплексно воспроизвести одновременно электрические процессы функционирования, сопутствующие тепловые, механические, аэродинамические, радиационные и другие внешние воздействия, технологические явления случайных разбросов параметров, старение, коррозию и другие деградационные факторы. Проблема осложняется тем, что современные РЭС включают в себя сложные микроэлектронные изделия, обладающие определёнными физико-технологическими особенностями, которые также должны быть учтены при комплексном математическом моделировании. Все эти факторы в совокупном и взаимосвязанном проявлении обязательно должны быть правильно учтены при схемно-конструкторско-технологическом проектировании, что можно выполнить только с помощью ЭВМ. В этом случае действительно заранее могут быть выявлены и устранены основания для системных отказов и обеспечены высокие показатели надёжности РЭС.

Причины существования четырёх перечисленных выше проблем коренятся в недостатках процессов проектирования и отработки создаваемых образцов, связанных с недостаточным применением автоматизированных методов проектирования и современных ин-

формационных технологий, базирующихся на комплексном математическом моделировании одновременно протекающих электрических, тепловых, механических, аэродинамических, электромагнитных и других процессов, обусловленных как функционированием аппаратуры и воздействием внешних факторов, так и её износом и старением. Выход из создавшегося положения лежит в унификации математических моделей разнородных физических процессов на основе существующей аналогии протекания. Это позволит значительно снизить трудоёмкость интеграции их в единую комплексную модель, обеспечить полноту и достоверность результатов моделирования, разработать соответствующую методологию и реализующую её принципиально новую многофункциональную автоматизированную систему анализа схемотехнических и конструктивно-технологических решений и надёжности проектируемых РЭС. Данная система, как сказано выше, получила название АСОНИКА и внедрена на ряде предприятий военно-промышленного комплекса Российской Федерации.

Это первая российская автоматизированная система моделирования, которая рекомендуется специальными руководящими документами Министерством обороны РФ для замены испытаний электронной аппаратуры на ранних этапах проектирования, что позволяет создавать конкурентоспособную аппаратуру в минимальные сроки и с минимальными затратами.

Система АСОНИКА дополняет обычный перечень конструкторской документации результатами расчётов и моделями, по которым эти расчёты проведены. Тем самым формируется электронный виртуальный макет создаваемой аппаратуры, который может быть передан на этапы изготовления и эксплуатации. В рамках системы АСОНИКА реализуется специальный программный комплекс, который формирует структуру электронного (виртуального) макета разрабатываемой аппаратуры, наполняет данную структуру результатами работы проблемных подсистем системы АСОНИКА. Эти подсистемы позволяют моделировать электрические, тепловые, аэродинамические, механические и деградационные процессы в аппаратуре, осуществлять диагностическое моделирование, анализ показателей надёжности, а также интегрироваться с системами топологического проектирования систем и устройств телекоммуникаций Mentor Graphics, Cadence, Altium Designere, PCAD и др.

Программный комплекс управляет процессом отображения результатов модельных экспериментов на геометрической модели, входящей в состав электронного макета, а также преобразует электронный макет после его обработки в формат стандарта ISO 10303 STEP. Данные, входящие в электронный макет, используются на последующих стадиях жизненного цикла РЭС.

В настоящее время система АСОНИКА состоит из тринадцати подсистем:

анализа типовых конструкций блоков РЭС на механические воздействия АСОНИКА-М;

анализа типовых конструкций шкафов и стоек РЭС на механические воздействия АСОНИКА-М-ШКАФ;

анализа и обеспечения стойкости произвольных объёмных конструкций, созданных в системах ProEngieer, SolidWorks и других CAE-системах в форматах IGES и SAT, к механическим воздействиям АСОНИКА-М-3D;

анализа и обеспечения стойкости к механическим воздействиям конструкций РЭС, установленных на виброизоляторах, АСОНИКА-В;

анализа и обеспечения тепловых характеристик конструкций аппаратуры АСОНИКА-Т;

анализа конструкций печатных узлов РЭС на тепловые и механические воздействия АСОНИКА-ТМ;

автоматизированного заполнения карт рабочих режимов электрорадиоизделий (ЭРИ) АСОНИКА-Р;

анализа показателей надёжности РЭС с учётом реальных режимов работы ЭРИ АСОНИКА-Б;

справочной базы данных электрорадиоизделий и материалов по геометрическим, физико-механическим, теплофизическим, электрическим и надёжностным параметрам АСОНИКА-БД;

идентификации физико-механических и теплофизических параметров моделей РЭС АСОНИКА-ИД;

анализа усталостной прочности конструкций печатных плат и электрорадиоизделий при механических воздействиях АСОНИКА-УСТ;

анализа и обеспечения электромагнитной совместимости РЭС АСОНИКА-ЭМС;

управления моделированием РЭС при проектировании АСОНИКА-УМ.

Система АСОНИКА включает в себя следующие конверторы с известными САПР:

модуль интеграции системы моделирования электрических процессов в схемах PSpice и подсистем АСОНИКА-Р, АСОНИКА-Б (ве-

дётся разработка модулей интеграции с системами Cadence и Altium Designere);

модуль интеграции систем проектирования печатных узлов PCAD, Mentor Graphics, Cadence, Altium Designere и подсистемы АСОНИКА-ТМ;

модуль интеграции 3D-модели, созданной в системах КОМПАС, ProEngineer, SolidWorks, Inventor, T-FLEX в форматах IGES, SAT и подсистемы АСОНИКА-М (версия АСОНИКА-М-3D).

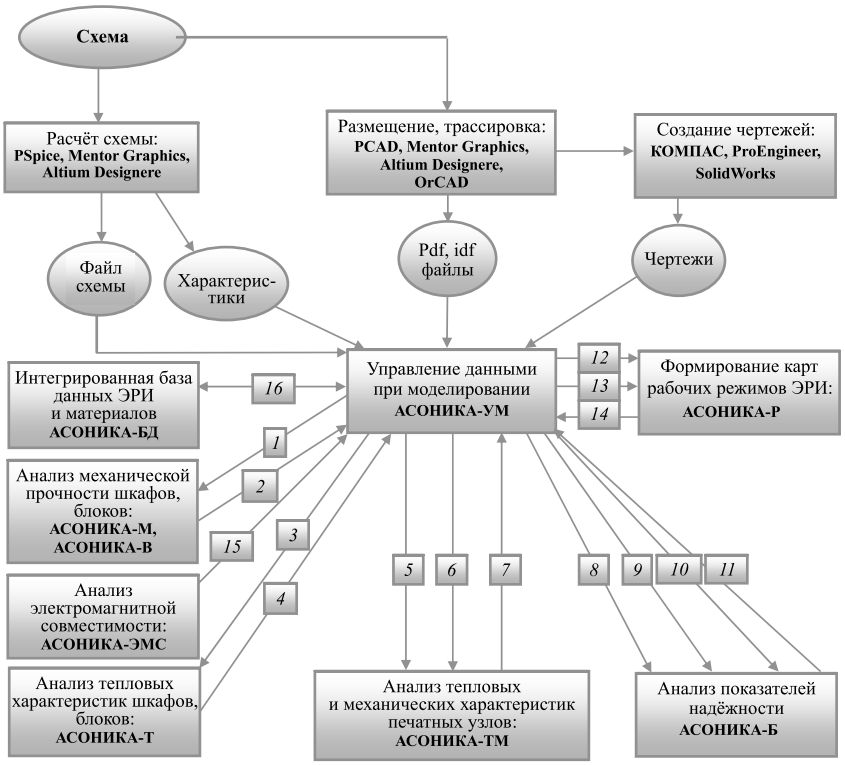
Предполагается разработка подсистемы радиационной стойкости РЭС АСОНИКА-РАД.

Структура системы АСОНИКА (см. рисунок) предусматривает, что в процессе проектирования, в соответствии с требованиями CALS-технологий, на базе подсистемы управления данными при моделировании АСОНИКА-УМ (PDM-системы) и с использованием подсистем моделирования происходит формирование электронной модели изделия.

С помощью специального графического редактора вводится электрическая схема, которая сохраняется в базе данных проектов в подсистеме АСОНИКА-УМ и передаётся в виде файла в системы анализа электрических схем PSpice, Mentor Graphics, Cadence и Altium Designere, а также в системы размещения и трассировки печатных плат PCAD, Mentor Graphics, Cadence и Altium Designere. Выходные файлы системы PCAD в формате PDIF и Mentor Graphics, Cadence и Altium Designere в формате IDF либо сохраняются в подсистеме АСОНИКА-УМ, либо направляются в системы AUTOCAD, КОМПАС, ProEngineer, SolidWorks, Inventor, T-FLEX для создания чертежей и сохраняются в подсистеме АСОНИКА-УМ. В подсистему АСОНИКА-УМ также передаются 3D-модели шкафов и блоков РЭС, созданные в системах КОМПАС, ProEngineer, SolidWorks, Inventor, T-FLEX в форматах IGES и SAT, которые направляются в подсистемы АСОНИКА-М и АСОНИКА-В *1* для анализа механических процессов в шкафах и блоках РЭС, а также в подсистему АСОНИКА-Т *3* для анализа тепловых процессов в шкафах и блоках РЭС.

Полученные в результате моделирования напряжения, перемещения, ускорения и температуры в конструкциях шкафов и блоков сохраняются в подсистеме АСОНИКА-УМ *2*, *4*. Чертежи печатных узлов (ПУ) и спецификации к ним, а также файлы в форматах PDIF и IDF передаются из подсистемы АСОНИКА-УМ в подсистему АСОНИКА-ТМ *5* для комплексного анализа тепловых и механических процессов в ПУ. Кроме того, передаются температуры воздуха в узлах, полученные в подсистеме АСОНИКА-Т, а также ускорения опор, полученные в подсистеме АСОНИКА-М *6*. Полученные в результате моделирования температуры и ускорения ЭРИ сохраняются в подсистеме АСОНИКА-УМ *7*.

Перечень ЭРИ *8*, файлы с электрическими характеристиками ЭРИ *9*, температурами и ускорениями ЭРИ *10*, результаты электромагнитного *15* и радиационного *16* анализов, полученные в подсистемах АСОНИКА-ЭМС и АСОНИКА-РАД, передаются из подсистемы АСОНИКА-УМ в подсистему анализа показателей надёжности РЭС АСОНИКА-Б. Полученные в результате показатели надёжности РЭС сохраняются в подсистеме АСОНИКА-УМ *11*. Перечень ЭРИ, файлы с электрическими характеристиками ЭРИ *12*, температурами и ускорениями ЭРИ *13* передаются из подсистемы АСОНИКА-УМ в подсистему формирования карт рабочих режимов ЭРИ АСОНИКА-Р. Полученные в результате карты рабочих режимов сохраняются в подсистеме АСОНИКА-УМ *14*.



Структура автоматизированной системы АСОНИКА

Система ориентирована на разработчика РЭС. Для этого в подсистемах АСОНИКА-М и АСОНИКА-ТМ созданы специальные интерфейсы для ввода типовых конструкций аппаратуры — шкафов, блоков, печатных узлов, что значительно упрощает анализ физических процессов в РЭС.

Если бы пользователь строил модель механических процессов сложного шкафа или блока в обычной конечно-элементной системе, например ANSYS, то сначала пришлось бы пройти специальное обучение и набраться опыта. Для работы с системой АСОНИКА не нужно специального обучения, достаточно просто ввести в неё на доступном конструктору языке то, что представлено на чертеже. Ввод того же сложного шкафа может быть осуществлён в течение получаса.

Таким образом, полноценный комплексный анализ шкафа на тепловые и механические воздействия вплоть до каждого ЭРИ (получаем ускорения и температуры на каждом элементе) может быть проведён в течение 1 дня.

Подсистема АСОНИКА-М позволяет анализировать блоки кассетного, этажерочного и цилиндрического типов, шкафы РЭС и проводить расчёт следующих механических воздействий: гармоническая вибрация; случайная вибрация; удар; линейное ускорение.

В результате моделирования могут быть получены: зависимости ускорений от частоты и времени в контрольных точках и узлах конструкции; перемещения, прогибы, ускорения и напряжения участков конструкции блоков и шкафов; деформации блоков и шкафов; ускорения в местах крепления печатных узлов, необходимые для их дальнейшего анализа вплоть до каждого ЭРИ в подсистеме АСОНИКА-ТМ.

Подсистема АСОНИКА-М включает в себя базу данных со справочными геометрическими, теплофизическими и физико-механическими параметрами конструкционных материалов.

Подсистема АСОНИКА-В предназначена для анализа механических характеристик конструкций шкафов, стоек и блоков РЭС, установленных на виброизоляторах, при воздействии гармонической вибрации, случайной вибрации, ударных нагрузок, линейного ускорения, акустических шумов. На основе полученных механических характеристик можно принять решение для обеспечения стойкости аппаратуры при механических воздействиях. Подсистема имеет специальный графический интерфейс ввода конструкции на виброизоляторах. Подсистема позволяет идентифицировать параметры виброизоляторов, а также оптимизировать их с целью снижения нагрузок на конструкцию. В результате моделирования могут быть получены зависимости ускорений конструкции на виброизоляторах от частоты и времени. Подсистема АСОНИКА-В включает в себя базу данных со справочными параметрами виброизоляторов.

Подсистема АСОНИКА-Т позволяет анализировать тепловые характеристики следующих типов конструкций РЭС: микросборок, радиаторов и теплоотводящих оснований, гибридно-интегральных модулей, блоков этажерочной и кассетной конструкции, шкафов, стоек, а также произвольных конструкций РЭС.

Подсистема позволяет анализировать стационарный и нестационарный тепловые режимы аппаратуры, работающей при естественной и вынужденной конвекциях в воздушной среде как при нормальном, так и при пониженном давлении.

При анализе произвольных конструкций определяются температуры выделенных изотермических объёмов и выводятся графики зависимости температур от времени для нестационарного теплового режима.

Подсистема АСОНИКА-Т включает в себя базу данных со справочными теплофизическими параметрами конструкционных материалов.

Подсистема анализа конструкций печатных узлов РЭС на тепловые и механические воздействия АСОНИКА-ТМ позволяет анализировать печатные узлы РЭС и проводить расчёт стационарного и нестационарного тепловых режимов: как при нормальном, так и при пониженном давлении; при следующих видах механических воздействий: гармоническая вибрация; случайная вибрация; удар; линейное ускорение; акустический шум.

Подсистема имеет специальный графический интерфейс ввода конструкции печатного узла.

В результате моделирования могут быть получены: зависимости ускорений от частоты и времени в контрольных точках конструкции; максимальные температуры, ускорения и напряжения участков печатных узлов и электрорадиоизделий; формы колебаний печатных узлов на собственных частотах; карты тепловых и механических режимов электрорадиоизделий.

Подсистема АСОНИКА-Р предназначена для облегчения и ускорения процесса заполнения карт рабочих режимов ЭРИ. В подсистему заложены все возможные формы карт рабочих

режимов последней редакции РДВ.319.01.09-94 (2000). Результаты работы подсистемы — заполненные карты режимов ЭРИ — автоматически конвертируются программой в текстовый процессор WORD, где они могут быть отредактированы и распечатаны. Подсистема имеет необходимую базу данных, в которой находится информация о предельных значениях параметров ЭРИ, взятая из нормативно-технической документации (НТД).

Подсистема АСОНИКА-Б позволяет анализировать шкафы, блоки, печатные узлы, ЭРИ и решать следующие задачи: определение показателей безотказности всех ЭРИ; обоснование необходимости и оценка эффективности резервирования РЭС.

Подсистема поддерживает пассивное резервирование с неизменной нагрузкой; активное нагруженное, ненагруженное, активное облегчённое резервирование.

В результате моделирования могут быть получены эксплуатационные интенсивности отказов, вероятности безотказной работы и среднее время безотказной работы РЭС. Сервисное обеспечение подсистемы АСОНИКА-Б включает в себя базу данных с математическими моделями для расчёта значений эксплуатационной интенсивности отказов ЭРИ и значениями коэффициентов, входящих в модели, а также редактор базы данных. Подсистема позволяет импортировать данные о составе конструкции из других САПР электроники (PCAD), а также тепловые и электрические характеристики ЭРИ из других подсистем системы АСОНИКА.

Подсистема АСОНИКА-УМ, предназначенная для управления моделированием РЭС при проектировании, позволяет интегрировать САПР, внедрённые на предприятии (Pro/ENGINEER, P-CAD, АСОНИКА, КОМПАС, AutoCAD, PSpice и др.), и управлять передачей данных между подсистемами при моделировании в процессе конструкторского проектирования РЭС. Подсистема интегрируется с любой используемой на предприятии PDM-системой. В ходе проектирования подсистема позволяет сформировать комплексную электронную модель РЭС в рамках математических моделей тепловых, электрических, аэродинамических, механических процессов и математической модели надёжности и качества РЭС.

Реализация описанной интеграции положила начало развитию и внедрению CALS-технологий на предприятиях радиоэлектронной и приборостроительной отраслей. Практические и инновационные результаты работы состоят в следующем. Интеграция программных продуктов позволяет выполнить сквозное автоматизированное проектирование РЭС на основе комплексного моделирования физических процессов. Язык интерфейса пользователя с программами максимально приближен к языку разработчика РЭС. На освоение предлагаемых программ требуется сравнительно малое время. При их внедрении достигается достаточно высокая скорость решения задач моделирования и значительная экономия материальных средств за счёт сокращения количества испытаний. Повышается надёжность и качество РЭС, проектируемой на основе предлагаемой интегрированной САПР.

Информационная согласованность всей системы обеспечивается на уровне электронной модели РЭС, информация в которой представлена в виде совокупности информационных объектов и взаимосвязей между ними, регламентированных стандартом ISO 10303 STEP, при отсутствии дублирования информации. В этом случае существует необходимость только в интерфейсах между каждой отдельно взятой подсистемой и подсистемой АСОНИКА-УМ. Данные интерфейсы позволяют преобразовать совокупность информационных объектов электронной модели РЭС, описывающих исходные данные для целевой подсистемы, в файлы проекта данной подсистемы и, наоборот, преобразовать файлы проекта исходной подсистемы в совокупность информационных объектов электронной модели РЭС и взаимосвязей между ними, регламентированных стандартом ISO 10303 STEP, гарантируя однозначность представления информации в электронной модели РЭС.

Данное решение информационной согласованности обеспечивает гибкость структуры системы АСОНИКА. Таким образом, при обновлении и замене существующих подсистем, а также при добавлении новых подсистем в данную структуру необходимо провести изменения интерфейсов интеграции с подсистемой АСОНИКА-УМ только подсистем, подлежащих замене либо вводимых в состав структуры. Сложность интерфейсов определяется используемыми в качестве компонентов сквозной САПР РЭС программными системами.

Целью внедрения системы АСОНИКА является повышение эффективности работы структурных подразделений предприятия, приведение их в соответствие с современными мировыми и отечественными стандартами

качества, сокращение сроков проектирования и разработки наукоёмких РЭС, повышение надёжности разрабатываемых РЭС.

Внедрение данного программного комплекса позволяет получить значительную экономию материальных средств за счёт сокращения количества испытаний при внедрении предлагаемого программного обеспечения.

Таким образом, результатом внедрения системы АСОНИКА станет переход на принципиально новый уровень информационных технологий, что позволит расширить номенклатуру выпускаемой продукции, сократить сроки выхода на рынок новых изделий, снизить брак и затраты на производство.

Библиографические ссылки

1. **Шалумов А.С., Кофанов Ю.Н., Куликов О.Е., Травкин Д.Н., Соловьев Д.Б., Першин О.Е.** Динамическое моделирование сложных радиоэлектронных систем // Динамика сложных систем. 2011. № 3. С. 51—59.

2. **Малов А.В., Шалумов А.С.** Подсистема обеспечения стойкости радиоэлектронных средств на виброизоляторах к механическим воздействиям в составе САПР АСОНИКА // Успехи современной радиоэлектроники. 2011. № 1. С. 50—55.

3. **Малов А.В., Шалумов А.С., Ву Ван Куи.** Автоматизированная подсистема обеспечения стойкости радиоэлектронных средств к механическим воздействиям на основе систем виброизоляции // Наукоемкие технологии. 2011. № 11. С. 38—43.

4. **Урюпин И.С., Шалумов А.С., Тихомиров М.В., Першин Е.О.** Разработка алгоритма расчёта надежности несущих конструкций изделий радиоэлектронной аппаратуры при механических воздействиях // Динамика сложных систем. 2012. № 3. С. 100—105.

5. **Семененко А.Н., Шалумов М.А., Малов А.В., Куликов О.Е.** Разработка методики идентификации тепловых параметров, методов охлаждения и моделирования тепловых процессов в радиоэлектронных средствах произвольной конструкции // Динамика сложных систем. 2012. № 3. С. 106—110.

6. **Шалумов М.А.** Моделирование тепловых процессов в блоках произвольной конструкции // Динамика сложных систем. 2012. № 4. С. 62—64.

7. **Шалумов М.А.** Реализация автомата для построения моделей тепловых процессов произвольных конструкций РЭС в составе системы АСОНИКА // Динамика сложных систем. 2013. № 2. С. 67—71.

8. **Шалумов М.А., Шалумов А.С.** Фундаментальные основы моделирования тепловых процессов в радиоэлектронных средствах // Фундаментальные исследования. 2013. № 10 (часть 5). С. 1027—1032.

9. **Шалумов М.А., Шалумов А.С., Шалумова Н.А.** Автоматизированная подсистема моделирования тепловых процессов в радиоэлектронных средствах произвольной конструкции // Динамика сложных систем. 2013. № 4. С. 76—82.

10. **Shalumov A., Pershin E., Korkin A., Khaldarov V.** Accelerated Simulation of Thermal and Mechanical Reliability of Electronic Devices and Circuits. Example of an integrated circuit simulation in ASONIKA-M-3D // Динамика сложных систем. 2013. № 5. С. 59—67.

11. **Желтов Р.Л., Малов А.В., Першин Е.О., Савельев А.В., Семененко А.Н., Соловьев Д.Б., Травкин Д.Н., Чабриков С.В., Шалумов А.С., Шалумов М.А.** Применение подсистем моделирования тепловых и механических воздействий на конструкции РЭА // Межотраслевая информационная служба. 2013. Выпуск 4 (165). С. 59—69.

12. **Sunder R., Khaldarov V., Shalumov A.** Analysis and stability ensuring of electronics blocks to mechanical stress // Динамика сложных систем. 2014. № 1. С. 79—87.

13. **Автоматизированная** система АСОНИКА для моделирования физических процессов в радиоэлектронных средствах с учётом внешних воздействий / Под ред. А.С. Шалумова. М.: Радиотехника, 2013. 424 с.

14. **Shalumov A., Pershin E.** Accelerated Simulation of Thermal and Mechanical Reliability of Electronic Devices and Circuits. Moscow: Printing by PrintLETO.ru, 2013. 128 p. ISBN 978-5-88070-345-6.

15. **Кофанов Ю.Н., Шалумов А.С., Увайсов С.У., Сотникова С.Ю.** Информационные технологии проектирования радиоэлектронных средств / Под отв. редакцией Ю.Н. Кофанова. М.: Национальный исследовательский университет "Высшая школа экономики", 2013. 392 с.

16. **Моделирование** радиоэлектронных средств с учётом внешних тепловых, механических и других воздействий с помощью системы АСОНИКА: монография / А.С. Шалумов, В.М. Ивашко, Н.В. Малютин, Ю.Н.Кофанов, Е.Ю. Тихонова [под ред. проф. А.С. Шалумова]. Минск: Военная академия Республики Беларусь, 2014. 372 с.

УДК 621.391

А.В. Елисеев, д-р техн. наук, доц., **С.Н. Овсянников, С.А. Пшеничный**
(Донской государственный технический университет, г. Ростов-на-Дону)

eliseev_av65@mail.ru

ФИЛЬТРАЦИЯ ИНФОРМАЦИОННОГО ПРОЦЕССА В УСЛОВИЯХ ПАРАМЕТРИЧЕСКОЙ НЕОПРЕДЕЛЁННОСТИ

Рассмотрена задача линейной фильтрации в условиях, когда модель информационного процесса известна с точностью до параметра. Для адаптации фильтра к изменению параметра модели предложено использовать экспертную систему, основанную на нечётких логических правилах вывода. Предложена структурная схема адаптивного фильтра. Приведены результаты численного моделирования.

Ключевые слова: линейная фильтрация; параметрическая неопределённость; адаптивный фильтр; детектор манёвра; нечёткая система; структура фильтра.

The problem of linear filtering under conditions where the model of the information process is known to within a parameter is considered. To adapt the filter to model parameter change is proposed to use an expert system based on fuzzy logic inference rules. A structural scheme of an adaptive filter is proposed Results of numerical simulations are adduced.

Keywords: linear filtering; parametric uncertainty; adaptive filter; maneuver detector; fuzzy system; filter structure.

Введение. Известно [1], что в радиотехнических системах (РТС) навигации и локации для оценивания параметров динамических информационных процессов широко используется фильтр Калмана и его модификации.

Наряду с такими достоинствами фильтра Калмана, как использование для формирования оценки нарастающего объёма измерений, а также учёт динамики информационного процесса, ему свойственны и недостатки, одним из которых является склонность фильтра к расходимости. Расходимость приводит к снижению качества фильтрации и может повлиять на эффективность выполнения целевых задач РТС в целом. Так, например, в радиолокационных системах расходимость фильтра в конечном итоге приведёт к сбросу траектории с сопровождения, что значительно повысит вероятность пропуска цели.

Для недопущения расходимости оценки, обусловленной неадекватностью математической модели исследуемого процесса, используются различные модификации алгоритма фильтра Калмана, которые условно можно разделить на три группы [1]: алгоритмы без обнаружителя манёвра [1, 2], требующие знания статистических характеристик манёвра цели; алгоритмы с обнаружителем манёвра, предусматривающие как минимум два фильтра, один из которых настроен на манёвр известного типа [1, 3], разновидностью данных алгоритмов являются адаптивные фильтры, подстраивающие свои параметры на основе анализа показателя расходимости [3] или полученной оценки ускорения объекта; многомодельные алгоритмы, используемые в случае, когда манёвр цели является неизвестным, но принадлежащим некоторому множеству возможных манёвров [1].

Следует отметить, что выделить из всего многообразия однозначно лучший алгоритм фильтрации невозможно, так как эффективность применения конкретного фильтра зависит от многих факторов: наличия достоверной информации о характере манёвра цели, величины динамического диапазона манёвра, вычислительных ресурсов РТС и др. Так, в условиях ограничений на вычислительные ресурсы РТС эффективными являются адаптивные фильтры с обнаружителем манёвра [1, 3]. При этом, как правило, адаптация фильтра выполняется путём подстройки матрицы интенсивностей формирующих шумов модели процесса [3, 4]. Для управления последней в [4] использован нечёткий логический регулятор, изменяющий полосу пропускания фильтра при изменении модуля знакопеременной ошибки слежения, в [3] — чёткий дискретный регулятор, выполняющий те же функции. К недостаткам известных методов следует отнести невозможность компенсации динамической ошибки, как в работе [4], обусловленную жёсткой структурой нечёткого регулятора, использующего в качестве входной информации

только текущее значение невязки, и достаточно большие значения времени адаптации и динамической погрешности адаптации, как в работе [3], обусловленные итерационностью процедуры адаптации фильтра.

Цель данной работы — снижение динамической ошибки фильтрации в задаче оценивания параметров динамического информационного процесса в условиях параметрической неопределённости.

Для достижения данной цели решена следующая *научная задача*: разработка метода адаптации параметров фильтра Калмана к изменению модели информационного процесса на основе использования нечёткой экспертной системы.

Математическая постановка задачи. Пусть информационный процесс на интервале времени $[t_0, T]$ описывается разностным уравнением

$$\mathbf{X}(j+1) = \mathbf{\Phi}(j+1, j)\mathbf{X}(j) + \mathbf{\Gamma}(j+1, j)(\mathbf{A}_x(j) + \mathbf{N}_x(j)), \; j = 0, 1, 2, \ldots, \quad (1)$$

а уравнение наблюдения имеет вид

$$\mathbf{Z}(j) = \mathbf{H}(j)\mathbf{X}(j) + \mathbf{N}_z(j), \; j = 0, 1, 2, \ldots, \quad (2)$$

где $\mathbf{X}(j) = \mathbf{X}(t_j) \in R^{q\times 1}$ — вектор параметров процесса; $\mathbf{Z}(j) \in R^{p\times 1}$ — вектор измерений; $\mathbf{\Phi}(j+1, j) \in R^{q\times q}$, $\mathbf{\Gamma}(j+1, j) \in R^{q\times m}$, $\mathbf{H}(j) \in R^{p\times q}$ — известные функциональные матрицы; $\mathbf{A}_x(j) \in R^{m\times 1}$ — вектор интенсивностей изменения процесса, элементы которого неизвестны, но принадлежат априорно известным диапазонам $a_{xs}(j) \in [a_{x\min s}, a_{x\max s}]$, $s = \overline{1, m}$, $\mathbf{N}_x(j) \in R^{m\times 1}$, $\mathbf{N}_z(j) \in R^{p\times 1}$ — случайные шумы объекта (1) и канала наблюдения (2) соответственно, имеющие нулевые математические ожидания и корреляционные матрицы $\mathbf{Q}(j) = \operatorname{diag}\left[q_{ss}(j),\ s = \overline{1, m}\right]$, $\mathbf{R}(j) = \operatorname{diag}\left[r_{ss}(j),\ s = \overline{1, p}\right]$.

Требуется: по результатам текущих наблюдений $Z(j)$ получить оптимальную в среднеквадратическом смысле оценку $\hat{\mathbf{X}}(j)$ фильтрации вектора состояния (1) в условиях априорной неопределённости относительно значений элементов матрицы $A_x(j)$.

Решение задачи. Для формирования оценки $\hat{\mathbf{X}}(j)$ вектора параметров используем алгоритм фильтрации Калмана [1]:

$$\hat{\mathbf{X}}(j+1) = \hat{\mathbf{X}}(j+1|j) + \mathbf{K}(j+1)\times \times\left[\mathbf{Z}(j+1) - \mathbf{H}(j+1)\hat{\mathbf{X}}(j+1|j)\right]; \quad (3)$$

$$\hat{\mathbf{X}}(j+1|j) = \mathbf{\Phi}(j+1, j)\hat{\mathbf{X}}(j); \quad (4)$$

$$\mathbf{P}(j+1|j) = \mathbf{\Phi}(j+1, j)\mathbf{P}(j)\mathbf{\Phi}^T(j+1, j) + \mathbf{\Gamma}(j+1, j)\mathbf{Q}(j+1)\mathbf{\Gamma}^T(j+1, j); \quad (5)$$

$$\mathbf{K}(j+1) = \mathbf{P}(j+1|j)\mathbf{H}^T(j+1)\times \times\left[\mathbf{H}(j+1)\mathbf{P}(j+1|j)\mathbf{H}^T(j+1)\mathbf{R}(j+1)\right]^{-1}; \quad (6)$$

$$\mathbf{P}(j+1) = \left[\mathbf{I} - \mathbf{K}(j+1)\mathbf{H}(j+1)\right]\mathbf{P}^{[n]}(j+1|j), \quad (7)$$

где $\hat{\mathbf{X}}(j+1|j)$ — оценка прогноза вектора состояния на момент $j+1$; $\mathbf{P}(j+1|j)$ — симметричная матрица ошибок прогнозирования; $\mathbf{P}(j+1)$ — ковариационная матрица ошибок фильтрации $\mathbf{X}(j+1) - \hat{\mathbf{X}}(j+1)$; $\mathbf{K}(j+1)$ — коэффициент усиления фильтра; $\mathbf{I}$ — единичная матрица.

Следует отметить, что если измерения $\mathbf{Z}(j)$ содержат не только случайные шумы, но и систематические мультиструктурные помехи, то целесообразно использовать алгоритм фильтрации, рассмотренный в работе [5].

Из анализа алгоритма фильтра Калмана видно, что в уравнении для прогноза оценки (4) отсутствует составляющая $\mathbf{\Gamma}(j+1, j)\mathbf{A}_x(j)$, входящая в модель процесса (1). Это обусловлено, согласно постановке задачи, условием априорной параметрической неопределённости вектора $\mathbf{A}_x(j)$. Таким образом, уравнение прогноза (4) имеет определённый уровень неадекватности относительно реального процесса (1). Данная неадекватность может привести к потере устойчивости и к росту ошибок фильтрации, как в любой момент времени, так и особенно в момент значительного изменения вектора $\mathbf{A}_x(j)$. Последний случай характерен, например, при интенсивном преднамеренном манёвре цели в задаче радиолокации [1—3].

Для обеспечения устойчивости фильтра (3)—(7) в условиях неадекватности модели (1) реальному процессу необходима адаптация его параметров. В работах [3, 4] показано, что адаптация фильтра возможна путём подстройки матрицы $\mathbf{Q}(j)$, что в свою очередь вызывает изменение коэффициента усиления фильтра $\mathbf{K}(j)$. Наряду с достоинствами предложенный фильтр характеризуется значительной динамической ошибкой при интенсивном изменении динамики процесса, что обусловлено итерационной подстройкой параметров фильтра.

Для устранения данного недостатка целесообразно разработать алгоритм подстройки параметров фильтра, обеспечивающий непрерывное слежение за показателем невязки фильтра вида

$$\boldsymbol{\varepsilon}(j) = \mathbf{Z}(j) - \mathbf{H}(j)\hat{\mathbf{X}}(j|j-1), \quad (8)$$

и непрерывное изменение элементов матрицы $\mathbf{Q}(j)$ в зависимости от величины $\boldsymbol{\varepsilon}(j)$.

Следует отметить, что невязка фильтра вида (8) может содержать как флуктуационную ошибку измерений, так и её сумму с динамической ошибкой, обусловленной неадекватностью модели процесса, использованной при синтезе фильтра, реальному процессу.

В первой ситуации, т.е. при флуктуационном характере невязки (8) целесообразно уменьшить её влияние на прогноз оценки $\hat{\mathbf{X}}(j+1|j)$. Для этого, по аналогии с работой [3], необходимо уменьшить коэффициент усиления фильтра путём уменьшения значений дисперсий формирующих шумов, являющихся элементами матрицы $\mathbf{Q}(j)$.

Во второй ситуации, т.е. при наличии динамической ошибки, целесообразно увеличить влияние невязки (8) на прогноз оценки $\hat{\mathbf{X}}(j+1|j)$. Для этого необходимо увеличить коэффициент усиления фильтра путём увеличения значений дисперсий формирующих шумов.

Таким образом, для адаптации фильтра Калмана необходимо последовательное решение двух основных задач: идентификации текущей ситуации, определяемой характером невязки, и управления значениями элементов матрицы $\mathbf{Q}(j)$.

Для решения задачи идентификации текущей ситуации введём, по аналогии с работой [3], два дополнительных показателя невязки: показатель модуля среднего арифметического значения невязки $\left|\bar{\varepsilon}(j)\right|$, показатель среднего арифметического модуля значения невязки $\overline{|\varepsilon(j)|}$ (при этом для простоты изложения без потери общности примем, что невязка является скалярной):

$$\left|\bar{\varepsilon}(j)\right| = \frac{\left|\sum_{i=0}^{n-1}\varepsilon(j-i)\right|}{n};\quad \overline{|\varepsilon(j)|} = \frac{\sum_{i=0}^{n-1}\left|\varepsilon(j-i)\right|}{n}. \quad (9)$$

С учётом принятых дополнительных показателей невязки и полагая для простоты изложения, что $\mathbf{Q}_x = \left[\sigma_x^2\right]$ и $\mathbf{R}(j) = \left[\sigma_z^2\right]$, введём по аналогии с [3] критерий идентификации текущей ситуации:

$$\Psi(j) \equiv \begin{cases} 0 \ \text{ при } \ |\varepsilon(j)| < \sigma_z; \\ 1 \ \text{ при } \ |\varepsilon(j)| \geqslant \sigma_z, \ \overline{|\varepsilon(j)|} = \left|\bar{\varepsilon}(j)\right|; \\ 2 \ \text{ при } |\varepsilon(j)| \geqslant \sigma_z, \ \overline{|\varepsilon(j)|} > \left|\bar{\varepsilon}(j)\right|, \end{cases} \quad (10)$$

где 0 — ситуация, когда невязка содержит только допустимую флуктуационную ошибку, адаптация фильтра не требуется; 1 — ситуация, когда невязка содержит динамическую ошибку, требуется адаптация фильтра; 2 — ситуация, когда невязка содержит недопустимую флуктуационную ошибку, требуется адаптация фильтра.

Далее предположим, что информационный процесс (1) характеризует траекторию движения объекта в декартовой системе координат. Алгоритм адаптации в зависимости от принятого по критерию (10) решения о текущей ситуации должен соответствующим образом изменить значения элементов матрицы интенсивностей формирующих шумов $\mathbf{Q}(j)$. Учитывая, что матрица $\mathbf{Q}(j)$ в случае фильтрации декартовых координат объекта является диагональной, а её элементами являются дисперсии ускорений по соответствующим координатам $\mathbf{Q}(j) = \mathrm{diag}\left[\sigma_x^2, \sigma_y^2, \sigma_z^2\right]$, то можно говорить об адаптации именно дисперсий ускорений. В дальнейшем для простоты изложения материала без потери общности рассмотрим случай фильтрации по одной координате, например, x, когда справедливо $\mathbf{Q}(j) = \sigma_x^2(j)$.

Таким образом, для обеспечения адаптации фильтра к манёвру объекта необходимо синтезировать алгоритм, реализующий с учётом (9, 10) зависимость вида $\sigma_x^2(j) = f\left(\left|\varepsilon(j)\right|, \overline{|\varepsilon(j)|}, \left|\bar{\varepsilon}(j)\right|\right)$.

Применим для адаптации фильтра Калмана к изменению модели информационного процесса оперативно советующую экспертную систему (ОСЭС), основанную на применении нечёткого логического вывода [6, 7]. Будем считать, что процесс функционирования фильтра Калмана можно представить в виде кортежа некоторых проблемных ситуаций (ПрС). Любая ПрС описывается ситуационным вектором $\mathbf{sv} = \left[sv_k, k = \overline{1, K}\right]^T$, каждая координата которого sv_k является лингвистической переменной с заданным множеством термов $\left\{SV_k^l, l = \overline{1, m_k}\right\}$. Полагаем, что для некоторых конкретных реализаций ситуационного вектора **sv*** имеются прецеденты успешного решения текущей ПрС, характеризующиеся некоторым прецедентным вектором $\mathbf{pv} = \left\{pv_m, m = \overline{1, m_{PV}}\right\}$, каждая координата которого pv_m является лингвистической переменной с заданным множеством термов $\left\{PV_m^p, p = \overline{1, n_m}\right\}$. Пусть некоторая ПрС, возникающая при динамической фильтрации измерений, описывается ситуационным век-

тором $\mathbf{sv} = \left[sv_k, k = \overline{1,2} \right]^T$ с элементами: sv_1 — "тип ошибки фильтрации"; sv_2 — "значение модуля относительной ошибки $|\varepsilon_{отн}(j)|$", при этом $|\varepsilon_{отн}(j)|$ определяется формулой

$$\left|\varepsilon_{отн}\left(j\right)\right| = \frac{\left|\varepsilon\left(j\right)\right|}{\sigma_{доп}}, \qquad (11)$$

где $|\varepsilon(j)|$ определяется формулой (8); $\sigma_{доп}$ — некоторое допустимое значение среднеквадратического отклонения ошибки $\varepsilon(j)$.

Пусть указанные переменные описываются следующими терм-множествами:

$$\mathbf{SV}_1 = \left\{ \begin{array}{l} \text{допустимая ошибка (ДО);} \\ \text{недопустимая динамическая ошибка} \\ \text{(знакопостоянная) (НДО);} \\ \text{недопустимая случайная ошибка} \\ \text{(знакопеременная) (НСО)} \end{array} \right\} = \left\{ SV_1^l, l = \overline{1,3} \right\};$$

$$\mathbf{SV}_2 = \left\{ \begin{array}{l} \text{малая ошибка (МО);} \\ \text{предельная ошибка (ПО);} \\ \text{большая ошибка (БО)} \end{array} \right\} = \left\{ SV_2^l, l = \overline{1,3} \right\}.$$

Полагаем, что лингвистическая переменная sv_1 задана на унифицированном универсальном множестве $E = \{0, 1, 2\}$, лингвистическая переменная sv_2 — на универсуме $E = [0, |\varepsilon_{отн\,max}|]$, а их термы описываются функциями принадлежности $\mu_{SV_k} \in \left\{ \mu_{SV_k^l}, l = \overline{1, m_k} \right\}$.

Пусть термы лингвистической переменной sv_1 описываются функциями принадлежности типа синглетон:

$$SV_1^1 : \mu_{SV_1^1} = \delta\left(x, \bar{x}_1^1\right) = \left\{ \begin{array}{l} 1, \text{ если } x = \bar{x}_1^1 = 0 - \text{ ситуация:} \\ \text{допустимая ошибка (ДО);} \\ 0, \text{ если } x \neq \bar{x}_1^1; \end{array} \right.$$

$$SV_1^2 : \mu_{SV_1^2} = \delta\left(x, \bar{x}_1^2\right) = \left\{ \begin{array}{l} 1, \text{ если } x = \bar{x}_1^2 = 1 - \text{ ситуация:} \\ \text{недопустимая динамическая} \\ \text{ошибка (НДО);} \\ 0, \text{ если } x \neq \bar{x}_1^2; \end{array} \right.$$

$$SV_1^3 : \mu_{SV_1^3} = \delta\left(x, \bar{x}_1^3\right) = \left\{ \begin{array}{l} 1, \text{ если } x = \bar{x}_1^3 = 2 - \text{ ситуация:} \\ \text{недопустимая случайная} \\ \text{ошибка (НСО);} \\ 0, \text{ если } x \neq \bar{x}_1^3. \end{array} \right.$$

Термы лингвистической переменной sv_2 описываются следующими функциями принадлежности [6]:

$$SV_2^1 : \mu_{SV_2^1}\left(|\varepsilon_{отн}|\right) = 1 - \frac{1}{1 + \exp\left(-a_{21}\left(|\varepsilon_{отн}| - c_{21}\right)\right)}; \qquad (12)$$

$$SV_2^2 : \mu_{SV_2^2}\left(|\varepsilon_{отн}|\right) = \exp\left(\frac{-\left(|\varepsilon_{отн}| - c_{22}\right)^2}{a_{22}} \right); \qquad (13)$$

$$SV_2^3 : \mu_{SV_2^3}\left(|\varepsilon_{отн}|\right) = \frac{1}{1 + \exp\left(-a_{23}\left(|\varepsilon_{отн}| - c_{23}\right)\right)}, \qquad (14)$$

где $a_{kl}, c_{kl}, k = \overline{1,2}, \ l = \overline{1,3}$ — параметры функций принадлежности.

Учитывая, что управляемым параметром фильтра Калмана, как было сказано ранее, является матрица интенсивностей формирующих шумов $\mathbf{Q}(j)$, а в частном скалярном случае — дисперсия формирующего шума $\sigma_x^2(j)$, введём в рассмотрение прецедентный вектор $\mathbf{PV} = \left\{ pv_m, m = \overline{1, m_{PV}} \right\} = \left\{ pv_1 \right\}$, состоящий из одной лингвистической переменной pv_1 — "относительное значение СКО формирующего шума", чёткое значение которой определяется формулой

$$\sigma_{x\,отн}\left(j\right) = \frac{\sigma_x\left(j\right)}{\sigma_{x\,норм}}, \qquad (15)$$

где $\sigma_{x\,норм}$ — некоторое нормирующее значение СКО, в общем случае равное начальному значению σ_{x0}, установленному перед запуском фильтра Калмана.

Полагаем, что лингвистическая переменная pv_1 задана на универсуме $E = [0, \sigma_{x.отн.max}]$, а её термы описываются функциями принадлежности $\mu_{PV_1} \in \left\{ \mu_{PV_1^p}, p = \overline{1, n_m} \right\}$.

Пусть pv_1 характеризуется следующим терм-множеством:

$$\mathbf{PV}_1 = \left\{\begin{array}{l}\text{исходное относительное СКО (ИОСКО);}\\ \text{малое относительное СКО (МОСКО);}\\ \text{среднее относительное СУО (СРОСКО);}\\ \text{большое относительное СКО (БОСКО)}\end{array}\right\} = \left\{PV_1^p,\ p=\overline{1,4}\right\}.$$

Зададим термы множества $\mathbf{PV}_1$ следующими функциями принадлежности:

$$PV_1^1 : \mu_{PV_1^1} = \delta\left(x, \bar{x}_1^1\right) = \begin{cases}1, \text{ если } x = \bar{x}_1^1 = \sigma_{x0\ \text{отн}};\\ 0, \text{ если } x \neq \bar{x}_1^1;\end{cases}$$

$$PV_1^2 : \mu_{PV_1^2}\left(\sigma_{x\ \text{отн}}\right) = 1 - \frac{1}{1+\exp\left(-b_{12}\left(\sigma_{x\ \text{отн}} - d_{12}\right)\right)}; \quad (16)$$

$$PV_1^3 : \mu_{PV_1^3}\left(\sigma_{x\ \text{отн}}\right) = \exp\left(\frac{-\left(\sigma_{x\ \text{отн}} - d_{13}\right)^2}{b_{13}}\right); \quad (17)$$

$$PV_1^4 : \mu_{PV_1^4}\left(\sigma_{x\ \text{отн}}\right) = \frac{1}{1+\exp\left(-b_{14}\left(\sigma_{x\ \text{отн}} - d_{14}\right)\right)}, \quad (18)$$

где $b_{1p}, d_{1p}, p = \overline{2,4}$ — параметры функций принадлежности.

С учётом введённых ранее ситуационного и прецедентного векторов, система правил, описывающих механизм решения текущей ПрС, возникающей в процессе функционирования фильтра Калмана, будет иметь вид, представленный в таблице. В данной таблице каждая строка соответствует продукционному правилу нечёткого логического вывода, которое, например, для строки с номером 2 имеет вид:

$$r = 2: \text{ если } \left(sv_1 = \text{НДО}\left(\mu_{SV_1^2}\right)\right) \text{ и } \left(sv_2 = \text{МО}\left(\mu_{SV_2^1}\right)\right), \text{ то } \left(pv_1 = \text{МОСКО}\left(\mu_{PV_1^1}\right)\right).$$

Используя "минимаксное" правило Мамдани—Заде [6] выражение для расчёта итоговой функции принадлежности $\mu_{pv_{1\Sigma}}$ выходной лингвистической переменной pv_1 будет иметь вид:

Система правил для выбора прецедента в ОСЭС

Номер правила (r)	Элементы ситуационного вектора (входные лингвистические переменные)		Имеющийся прецедент решения ПрС (выходная лингвистическая переменная)
	sv_1	sv_2	pv_1
1	$\text{ДО}\left(\mu_{SV_1^1}\right)$	—	$\text{ИОСКО}\left(\mu_{PV_1^1}\right)$
2	$\text{НДО}\left(\mu_{SV_1^2}\right)$	$\text{МО}\left(\mu_{SV_2^1}\right)$	$\text{МОСКО}\left(\mu_{PV_1^2}\right)$
3	$\text{НДО}\left(\mu_{SV_1^2}\right)$	$\text{ПО}\left(\mu_{SV_2^2}\right)$	$\text{СРОСКО}\left(\mu_{PV_1^3}\right)$
4	$\text{НДО}\left(\mu_{SV_1^2}\right)$	$\text{БО}\left(\mu_{SV_2^3}\right)$	$\text{БОСКО}\left(\mu_{PV_1^4}\right)$
5	$\text{НСО}\left(\mu_{SV_1^3}\right)$	—	$\text{МОСКО}\left(\mu_{PV_1^2}\right)$

$$\mu_{pv_{1\Sigma}}\left(sv_1^*, sv_2^*\right) = \max_r \min_{pv_1}\left(\min_k\left(\mu^*_{SV_k(r)}\right), \mu_{PV_1(r)}\right), \quad (19)$$

где $\mu_{SV_k(r)} \in \left\{\mu_{SV_k^l}, l = \overline{1, m_k}\right\}$, $\mu_{PV_1(r)} \in \left\{\mu_{PV_1^p}, p = \overline{1, n_m}\right\}$ — функции принадлежности соответственно лингвистических переменных sv_k и pv_1, входящих в состав продукционного правила с номером r; sv_1^*, sv_2^* — чёткие значения входных переменных; $\mu^*_{SV_k(r)} = \mu_{SV_k(r)}\left(sv_k^*\right)$.

Для нахождения чёткого значения pv_1^* выходной переменной используем метод "центра тяжести", при котором в общем случае справедливо выражение [6]:

$$pv_{1\Sigma}^* = \frac{\int\limits_{pv_{1(\min)}}^{pv_{1(\max)}} pv_1^* \mu_{pv_{1\Sigma}}\left(pv_1^*\right) dpv_1^*}{\int\limits_{pv_{1(\min)}}^{pv_{1(\max)}} \mu_{pv_{1\Sigma}}\left(pv_1^*\right) dpv_1^*}, \quad (20)$$

где $pv_{1\Sigma}^*$ — абсцисса центра тяжести фигуры, образованной графиком итоговой функции принадлежности $\mu_{pv_{1\Sigma}}$ и осями координат, при изменении переменной pv_1^* от $pv_{1(\min)}^*$ до $pv_{1(\max)}^*$.

Переходя к численному интегрированию по методу трапеций с шагом дискретизации Δpv_1^* по аналогии с [6] запишем выражение (20) в виде

$$pv^*_{1\Sigma} = \frac{\frac{pv^*_{1(\min)}\mu_{pv_{1\Sigma}}\left(pv^*_{1(\min)}\right)}{2} + \sum_{i=1}^{M} pv^*_{1(i)}\mu_{pv_{1\Sigma}}\left(pv^*_{1(i)}\right) + \frac{pv^*_{1(\max)}\mu_{pv_{1\Sigma}}\left(pv^*_{1(\max)}\right)}{2}}{\frac{\mu_{pv_{1\Sigma}}\left(pv^*_{1(\min)}\right)}{2} + \sum_{i=1}^{M} \mu_{pv_{1\Sigma}}\left(pv^*_{1(i)}\right) + \frac{\mu_{pv_{1\Sigma}}\left(pv^*_{1(\max)}\right)}{2}}, \quad (21)$$

где $M = \frac{pv^*_{1(\max)} - pv^*_{1(\min)}}{\Delta pv^*_1}$.

Структура адаптивного фильтра Калмана с нечёткой ОСЭС представлена на рис. 1. Формирователь начальных условий (ФНУ) на основе первых двух измерений наблюдаемого процесса {**Z**(0), **Z**(1)} и априорной информации о виде матриц интенсивностей формирующего шума и шума наблюдения **Q**(0) и **R**(0) соответственно, вычисляет начальные условия для запуска фильтра Калмана $\hat{\mathbf{X}}(1), \mathbf{K}(1)$. Фильтр Калмана (ФК) на каждом шаге работы формирует невязку ε(*j*) вида (8). Вычислитель дополнительных показателей невязки (ВДПН) на основе полученного значения ε(*j*) вычисляет $|\varepsilon(j)|$, $\left|\overline{\varepsilon}(j)\right|$, $\overline{|\varepsilon(j)|}$ с использованием формул (9), (10). Формирователь ситуационного вектора (ФСВ) определяет чёткие значения элементов ситуационного вектора **sv***(*j*): sv^*_1 — с использованием критерия (10), sv^*_2 — с использованием выражения (11). Оперативно советующая экспертная система (ОСЭС) на основе входного ситуационного вектора **sv***(*j*) определяет чёткое значение выходного прецедентного вектора **pv***(*j* + 1), которое в частном скалярном случае представляет собой относительное значение СКО формирующего шума $\sigma_{x\ \text{отн}}(j+1)$. Преобразователь СКО (ПрСКО) пересчитывает относительное значение СКО

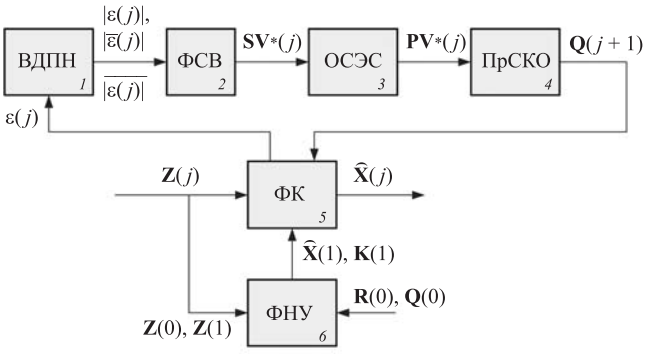


Рис. 1. Структура адаптивного фильтра Калмана:
1 — вычислитель дополнительных показателей невязки; *2* — формирователь ситуационного вектора; *3* — оперативно советующая экспертная система; *4* — преобразователь среднеквадратической ошибки; *5* — фильтр Калмана; *6* — формирователь начальных условий

$\sigma_{x\ \text{отн}}(j+1)$ в абсолютное значение $\sigma_x(j+1) = \sigma_{x\ \text{отн}}(j+1)\sigma_{x\ \text{норм}}$, которое используется в ФК на $j+1$ шаге.

Таким образом, ОСЭС обеспечивает адаптацию фильтра Калмана к изменению модели информационного процесса (1), которая может характеризоваться различными значениями вектора интенсивностей изменения процесса, например, различными ускорениями объекта по соответствующей координате.

Математическое моделирование алгоритма фильтрации. Пусть модель (1) характеризует движение аэродинамической цели, а вектор параметров включает в себя координату (*r*) и скорость изменения координаты (*v*): $\mathbf{X}(j) = [x_1(j), x_2(j)]^T = [r(j), v(j)]^T$. Уравнение измерений (2) соответствует, например, дальномерному каналу трёхкоординатной аэродромной радиолокационной системы (РЛС).

Функциональные матрицы в (1) и (2) имеют вид:

$$\mathbf{\Phi} = \begin{bmatrix} 1 & \tau \\ 0 & 1 \end{bmatrix}; \mathbf{\Gamma} = \begin{bmatrix} \frac{\tau^2}{2} \\ \tau \end{bmatrix}; \mathbf{H} = \begin{bmatrix} 1 & 0 \end{bmatrix},$$

где $\tau = t_{j+1} - t_j = 1$ с, $j = \overline{0, 600}$.

Векторы формирующего шума $\mathbf{N}_x(j) = [n_x]$ и шума наблюдения $\mathbf{N}_Z(j) = [n_z]$ характеризуются заданными ковариационными матрицами, соответственно, $\mathbf{Q}_x = \left[\sigma_x^2\right]$, $\sigma_x = 1$ м/с^2, $\mathbf{R}(j) = \left[\sigma_z^2\right]$, $\sigma_z = 25$ м, вектор измерений имеет вид $\mathbf{Z}(j) = [z_1(j)]$, вектор интенсивности манёвра имеет вид $\mathbf{A}_x(j) = [a_x(j)]$ ($a_x(j) \in [0, 3g]$, $g = 9{,}8$ м/с^2).

Реальная траектория движения объекта на интервале времени [0, 600] с задана следующей моделью:

$$\mathbf{X}(j+1) = \begin{cases} \mathbf{\Phi}\mathbf{X}(j) + \mathbf{\Gamma} n_x(j), 0 \leqslant j < 200; \\ \mathbf{\Phi}\mathbf{X}(j) + \mathbf{\Gamma}\left(2g + n_x(j)\right), 200 \leqslant j < 400; \\ \mathbf{\Phi}\mathbf{X}(j) + \mathbf{\Gamma} n_x(j), 400 \leqslant j < 600, \end{cases}$$

где $\mathbf{X}(0) = [10^5$ м, 83 м/с$]^{\text{т}}$.

Для оценки качества фильтра на основе разработанного алгоритма адаптации (19), (21) был проведён его сравнительный анализ с классическим фильтром без адаптации вида (3)—(7) и с фильтром, адаптируемым на основе процедуры, представленной в работе [3]:

$$\sigma_x^2(j) = \begin{cases} \sigma_x^2(j-1) \text{ при } |\varepsilon(j)| < \sigma_Z; \\ 1,25\sigma_x^2(j-1) \text{ при } |\varepsilon(j)| \geqslant \sigma_Z, \overline{|\varepsilon(j)|} = |\overline{\varepsilon}(j)|; \\ \dfrac{\sigma_x^2(j-1)}{1,25} \text{ при } |\varepsilon(j)| \geqslant \sigma_Z, \overline{|\varepsilon(j)|} > |\overline{\varepsilon}(j)|. \end{cases} \quad (22)$$

Начальные условия для фильтра задавались следующим образом:

$$\hat{x}_1(2) = Z(2), \ \hat{x}_2(2) = v(2) = \frac{Z(2) - Z(1)}{\tau};$$

$$\mathbf{P}(2) = \begin{bmatrix} \sigma_z^2 & 0 \\ 0 & \dfrac{2\sigma_z^2}{\tau^2} \end{bmatrix}.$$

Начальные условия также могут быть определены по аналогии с алгоритмом, приведённым в работе [7].

Параметры функций принадлежности (12)—(14) и (16)—(18), используемых в ОСЭС, задавались в следующем виде: $a_{21} = c_{21} = 2$, $a_{22} = 3$, $c_{22} = 2$, $a_{23} = 3$, $c_{23} = 4$, $b_{12} = d_{12} = 2$, $b_{13} = 30$, $d_{13} = 10$, $b_{14} = 2$, $d_{14} = 18$.

Результатом работы алгоритмов адаптации (19), (21) и (22) в конечном итоге является изменение коэффициента усиления фильтра, приводящее к изменению его реакции на вновь поступившие измерения. На рис. 2 и 3 представлены графики зависимости коэффициентов усиления фильтра для различных алгоритмов адаптации. Видно, что разработанный алгоритм адаптации (см. рис. 3) обеспечивает более оперативное изменение коэффициентов усиления фильтра при манёвре объекта по сравнению с алгоритмом (22) (см. рис. 2), что, в свою очередь, уменьшает ошибку фильтрации в переходном режиме.

Для оценки качества фильтрации введём показатель среднеквадратической ошибки $\rho(\hat{x}_1, x)$ вида

$$\rho(\hat{x}_1, x) = \sqrt{\frac{1}{N-3} \sum_{j=2}^{N} \left(\hat{x}_1(j) - x(j)\right)^2}, \quad (23)$$

где $\hat{x}_1(j)$ — оценка координаты (1), полученная на основе фильтра Калмана (3)—(7); $x(j)$ — действительная траектория, полученная на основе модели (1).

В результате моделирования получены следующие значения показателя (23):

$$\rho\left(\hat{x}_1^{(1)}, \ x_1\right) = 367,3; \ \rho\left(\hat{x}_1^{(2)}, \ x_1\right) = 68,3;$$

$$\rho\left(\hat{x}_1^{(3)}, \ x_1\right) = 36,3,$$

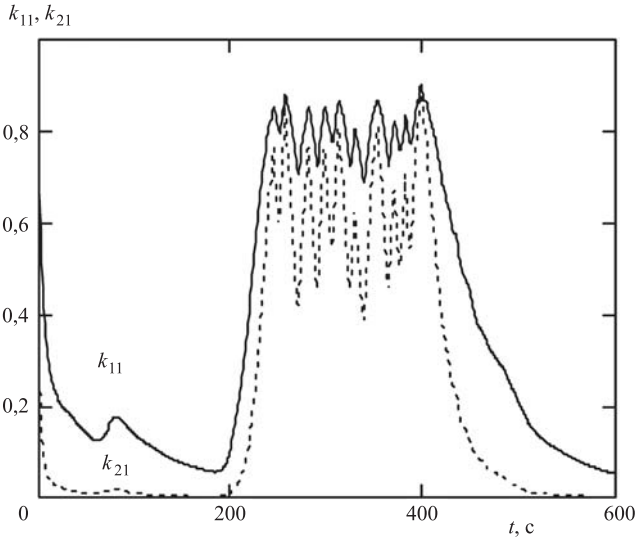


Рис. 2. График изменения коэффициента усиления фильтра при использовании алгоритма адаптации вида (22) [3]

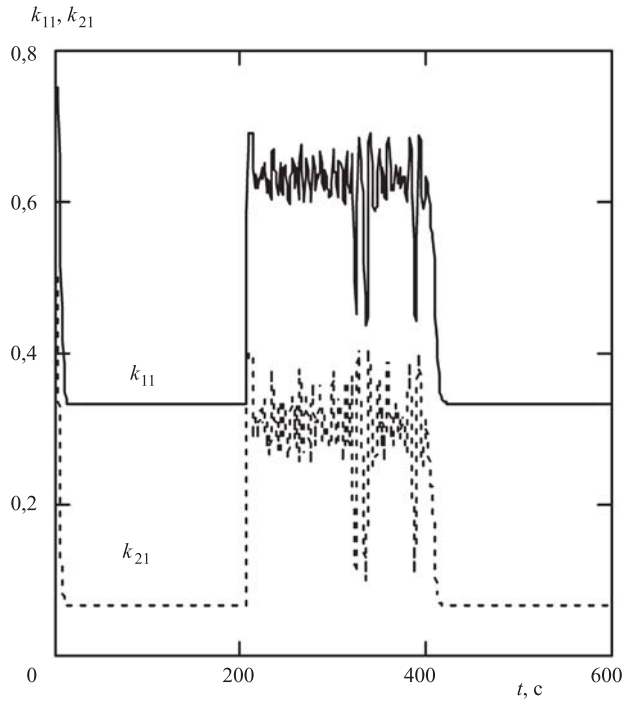


Рис. 3. График изменения коэффициента усиления фильтра при использовании разработанного алгоритма адаптации вида (19), (21)

где $\hat{x}_1^{(1)}(j)=\hat{r}^{(1)}(j), \hat{x}_1^{(2)}(j)=\hat{r}^{(2)}(j), \hat{x}_1^{(3)}(j)=\hat{r}^{(3)}(j)$ — оценка координаты, полученная, соответственно, с использованием неадаптивного фильтра, фильтра с адаптацией на основе алгоритма (22), фильтра с адаптацией на основе алгоритмов (19), (21).

На рис. 4 приведены графики изменения абсолютной погрешности фильтрации для одной реализации при использовании фильтра без адаптации (график *1*), фильтра с алгоритмом адаптации (22) (график *2*), фильтра с алгоритмом адаптации (19), (21) (график *3*). Видно, что в условиях манёвра объекта значение показателя среднеквадратической ошибки для разработанного алгоритма адаптации фильтра примерно на 47 % меньше значения аналогичного показателя для фильтра с адаптацией на основе алгоритма (22).

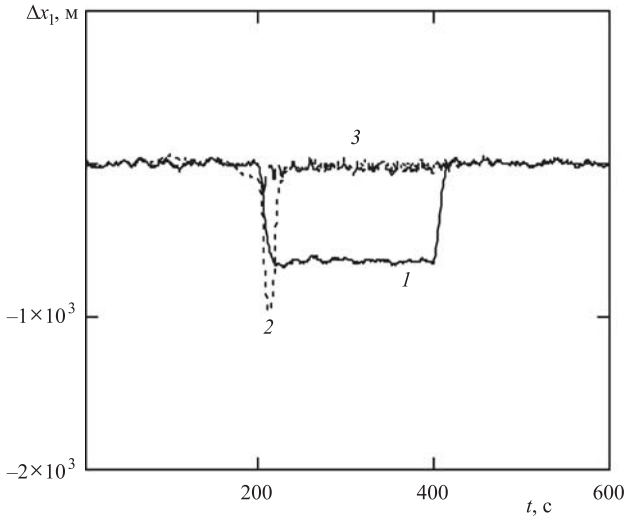


Рис. 4. Графики изменения абсолютной погрешности фильтрации для различных алгоритмов адаптации

Однако следует отметить, что предложенный метод адаптации и соответствующий фильтр характеризуются большим значением флуктуационной ошибки по сравнению с классическим неадаптивным фильтром (в условиях примера на 12 %).

Результаты моделирования свидетельствуют об эффективности применения разработанного алгоритма адаптации фильтра.

Заключение. При фильтрации динамического информационного процесса с использованием классического фильтра Калмана высока вероятность расходимости получаемых оценок, обусловленная неадекватностью используемой в фильтре математической модели. Причиной неадекватности является параметрическая неопределённость модели, вызванная резкой сменой динамики информационного процесса, например, манёвром летательного аппарата в задаче радиолокации.

Предложенный метод адаптивной настройки фильтра Калмана с использованием нечёткой экспертной системы в задаче слежения за параметрами динамического информационного процесса позволяет снизить динамическую ошибку фильтрации (в условиях примера на 47 %) и тем самым уменьшить вероятность расходимости фильтра.

Областью применения разработанного метода может быть информационно-математическое обеспечение радиотехнических систем различного назначения: радиолокации, радионавигации, траекторных измерений.

Библиографические ссылки

1. **Фарина А., Студер Ф.** Цифровая обработка радиолокационной информации. Сопровождение целей: Пер. с англ. М.: Радио и связь, 1993. 320с.

2. **Костоглотов А.А., Костоглотов А.И., Лазаренко С.В., Ценных Б.М.** Метод оценки параметров движения управляемого летательного аппарата на основе объединённого принципа максимума с построением опорной траектории // Успехи современной радиоэлектроники. 2012. № 6. С. 61—66.

3. **Родкин М.М.** Адаптивный метод настройки фильтра Калмана // VI Всероссийская конференция "Радиолокация и радиосвязь". ИРЭ им. Котельникова РАН. 19—22 ноября 2012. С. 125—128.

4. **Музыченко Н.Ю**. Синтез оптимального линейного измерителя при наблюдениях на фоне коррелированных шумов на базе нечётко-логических алгоритмов // Радиотехника и электроника. 2010. Т. 55. № 7. С. 808—811.

5. **Елисеев А.В., Калашников Р.М., Тюрин Д.А.** Алгоритм дискретной фильтрации в условиях динамических помех наблюдения // Автоматизация и современные технологии. 2014. № 5. С. 26—34.

6. **Гостев В.И.** Проектирование нечётких логических регуляторов для систем автоматического управления. СПб.: БХВ-Петербург, 2011. 416 с.

7. **Елисеев А.В.** Оценивание вектора состояния объекта на основе фильтра с нечёткой логикой // Авиакосмическое приборостроение. 2006. № 4. С. 30—38.

УДК 628.9

О.Е. Железникова, канд. техн. наук. доц., **А.М. Кокинов,** д-р техн. наук, проф.
(Мордовский государственный университет им. Н.П. Огарёва, г. Саранск)
С.А. Микаева, д-р техн. наук, проф.
(Московский технологический университет)

mikaeva@npo.lit.ru

ИССЛЕДОВАНИЕ ВЛИЯНИЯ ОСВЕЩЕНИЯ СВЕТОДИОДАМИ НА СОСТОЯНИЕ ЦЕНТРАЛЬНОГО ЗВЕНА ОРГАНА ЗРЕНИЯ

Проведены исследования состояния центрального звена органа зрения. Изучены изменения показателя критической частоты слияния мельканий в условиях освещения светодиодами и люминесцентными лампами при выполнении полуторачасовой зрительной работы.

Ключевые слова: освещение; светодиоды; орган зрения; критическая частота; мелькания; условия освещения; зрительная нагрузка.

The research of the state the organ of sight central link is carried out. The critical frequency index changes of the flicker fusion in condition of LEDs and fluorescent lamps lighting when the hour and a half of visual work is studied.

Keywords: lighting; LEDs; organ of sight; critical frequency; flicker; lighting conditions; visual load.

Цель данной работы — проведение серии экспериментальных исследований по оценке влияния освещения светодиодами на состояние коры головного мозга при выполнении напряжённых зрительных работ.

Как известно, напряжённая зрительная работа приводит к ряду существенных изменений не только в состоянии зрительного анализатора, но и в нервной деятельности работающего. В результате экспериментальных исследований в работе [1] показано, что при напряжённой зрительной работе состояние центральной нервной системы (ЦНС) оказывает большее влияние на выбор параметров освещения, чем состояние зрительных функций.

Многие исследователи для установления утомления центрального звена органа зрения используют метод определения возбудимости сенсорной сферы коры головного мозга, в частности по такому временному показателю возбудимости, как критическая частота слияния мельканий (КЧСМ) [2, 3].

Было установлено [4], что зрительная функция КЧСМ зависит от таких факторов, как: яркость наблюдаемой картины; отношение светлой части периода мельканий ко всему периоду; глубина модуляций яркости при мельканиях (амплитуда модуляций); угловой размер поля зрения; форма кривой, выражающей повышение и понижение яркости в процессе мельканий [5].

Большинство исследователей отмечают, что показатель КЧСМ очень чувствителен к воздействию зрительной нагрузки и условиям освещения, следовательно, может служить мерой зрительного утомления коркового отдела (центрального звена) органа зрения [6, 7].

Учитывая изложенное выше, для оценки состояния центрального звена органа зрения в исследованиях использовался показатель КЧСМ.

Экспериментальная исследовательская установка, условия и методика экспериментальных исследований подробно описаны в работах [8, 9].

Измерение КЧСМ проводилось при помощи специального комплекса для психофизиологических исследований (ПИ) КПФК-99М "ПСИХОМАТ", показанного на рисунке.

Порядок проведения измерения КЧСМ следующий: испытуемый должен был под-

Измерение КЧСМ на КПФК-99М "Психомат"

Таблица 1

Изменение КЧСМ после зрительной нагрузки в условиях светодиодного освещения

Освещённость E, лк	Цветовая температура $T_{цв}$, К	Условия освещения светодиодами					
		до работы		после работы		Коэффициент корреляции	
		КЧСМ, Гц, $\bar{x}$	Доверительный интервал, $t\sigma_{\bar{x}}$	КЧСМ, Гц, $\bar{x}$	Доверительный интервал, $t\sigma_{\bar{x}}$	r (между работой до и после работы)	$p(r)$
200	3000	43,50	0,53	42,90	0,60	0,63	$p < 0,05$
400		43,90	0,61	43,40	0,67	0,85	$p < 0,05$
1000		44,00	0,60	42,50	0,77	0,73	$p < 0,01$
200	4000	44,10	0,49	43,70	0,62	0,89	$p < 0,001$
400		44,40	0,59	44,10	0,68	0,74	$p < 0,05$
1000		44,70	0,57	44,40	0,59	0,75	$p < 0,05$
200	5000	43,80	0,63	43,30	0,75	0,72	$p < 0,05$
400		44,00	0,61	43,60	0,69	0,86	$p < 0,01$
1000		44,30	0,40	43,90	0,48	0,71	$p < 0,05$

твердить понимание смысла задания, нажав на кнопку "Готов" ПИ; наблюдать световой сигнал над центральной кнопкой ПИ. Если наблюдалось мелькание света, то следовательно, нажать правую кнопку ПИ, если мельканий не было — то левую. Задание выполняли до сигнала окончания теста.

Измерение заканчивалось при достижении величины изменения периода 1 мс.

По окончании работы с комплексом выдавалось значение КЧСМ.

Анализ совокупности полученных результатов показал, что разброс отдельных показаний не превышал 11,9 %, а разница между показаниями составляла 13,2 %. Это дало возможность совместить статистическую обработку материалов экспериментальных исследований.

Проверка гипотезы о нормальности распределения значений КЧСМ по критерию χ^2 показала, что полученные значения подчиняются закону нормального распределения.

Результаты исследования КЧСМ у наблюдателей в условиях освещения светодиодами и люминесцентными лампами представлены в табл. 1 и 2.

Установлено, что при выполнении напряжённой зрительной работы происходит достоверное ($p < 0,05$) снижение численного значения КЧСМ. Аналогичные результаты получены и представлены в других работах, например [10].

Оценка достоверности изменений КЧСМ после зрительной нагрузки выполнялась по t-критерию Стьюдента. Расчёты показывают, что имеют место достоверные сдвиги полученных результатов ($p < 0,05$), однако значения этих изменений не превышают физиологических колебаний этого показателя лабильности зрительного анализатора. При сопоставлении вариантов освещения светодиодами и люминесцентными лампами (при равных освещённости и цветовых температурах) снижение КЧСМ после зрительной нагрузки практически всегда было меньшим для вариантов освещения светодиодами, что свидетельствует о его некотором преимуществе при создании благоприятных условий для зрительной работы. Исключение в серии экспериментов составил вариант с уровнем освещённости 1000 лк и цветовой температурой 3000 К.

Анализ абсолютных значений КЧСМ до работы и по её завершении не позволил выявить наиболее предпочтительный состав излучения, так как t-критерий Стьюдента не подтвердил достоверности различий во всём исследованном диапазоне освещённостей и при всех цветовых температурах источников света.

На основании исследований можно утверждать, что показатель КЧСМ при освещении светодиодными источниками света не хуже, чем при люминесцентном освещении.

Таблица 2

Изменение КЧСМ после зрительной нагрузки в условиях освещения люминесцентными лампами

Освещённость E, лк	Цветовая температура $T_{цв}$, К	Условия освещения люминесцентными лампами					
		до работы		после работы		Коэффициент корреляции	
		КЧСМ, Гц, $\bar{x}$	Доверительный интервал, $t\sigma_{\bar{x}}$	КЧСМ, Гц, $\bar{x}$	Доверительный интервал, $t\sigma_{\bar{x}}$	r (между работой до и после работы)	$p(r)$
200	3000	41,40	0,45	40,20	0,38	0,82	$p < 0,01$
400		42,00	0,60	41,00	0,48	0,72	$p < 0,05$
1000		42,20	0,69	41,30	0,54	0,70	$p < 0,05$
200	4000	42,20	0,40	41,20	0,49	0,87	$p < 0,05$
400		42,70	0,50	41,80	0,52	0,74	$p < 0,05$
1000		43,10	0,51	42,30	0,56	0,79	$p < 0,05$
200	5000	42,00	0,63	40,80	0,57	0,76	$p < 0,05$
400		42,20	0,53	41,20	0,56	0,78	$p < 0,05$
1000		42,60	0,48	41,70	0,54	0,72	$p < 0,05$

Таким образом, показано, что освещение люминесцентными лампами не оказывает угнетающего действия на состояние ЦНС. Установлено [10], что при освещении люминесцентными лампами типов ЛБ и ЛДЦ активности альфа- и тета-ритмов в течение рабочего дня не претерпевают существенных изменений, следовательно, то же можно сказать и о воздействии условий освещения светодиодами на центральное звено органа зрения.

Результаты экспериментальных исследований позволяют сделать следующие выводы:

освещение светодиодами не оказывает угнетающего действия на состояние ЦНС;

снижение КЧСМ при выполнении напряжённой зрительной работы как при освещении люминесцентными лампами, так и светодиодами в процессе эксперимента связано с характером зрительной работы; этот процесс обратим — к началу следующего дня показатели восстанавливались до исходных значений.

Библиографические ссылки

1. **Окара О.И.** О динамике световой среды операторских помещений // Светотехника. 1978. № 11. С. 12—14.

2. **Черниловская Ф.М.** Освещение промышленных предприятий и его гигиеническое значение. Л.: Медицина. 1971. 288 с.

3. **Ойама Т.** Сравнение влияния освещения натриевыми лампами высокого давления и люминесцентными ртутными лампами на машиностроительных заводах // Семей Гаккей Джасси. 1978. № 5 (62). С. 238—240.

4. **Кравков С.В.** Глаз и его работа М.: Изд-во АН СССР. 1950. 350 с.

5. **Мешков В.В., Епанешников М.М.** Осветительные установки: учеб. пособ. для вузов. М.: Энергия, 1972. 360 с.

6. **Гельтищева Г.А.** Гигиеническая оценка работы студентов на видеотерминалах двух типов // Гигиена и санитария. 1992. № 1. С. 43—44.

7. **Смирнов К.М.** Особенности напряжения и утомления корректоров полиграфической промышленности // Гигиена труда и профессиональные заболевания. 1992. № 1. С. 14—16.

8. **Амелькина С.А., Железникова О.Е., Микаева С.А.** Экспериментальная исследовательская установка со светодиодными источниками света //Автоматизация. Современные технологии. 2015. № 2. С. 37—40.

9. **Железникова О.Е., Микаева С.А., Амелькин Э.А.** Исследования светодиодного освещения // Справочник. Инженерный журнал. 2015. № 5 (218). С. 61—64.

10. **Кучма В.Р.** Гигиенические основы использования светодиодов в системах искусственного освещения. Монография. М.: Издатель ФГБУ "Научный центр здоровья детей" РАМН. 2013. 248 с.

УДК 621.398:004.896

Н.В. Корнеев, д-р техн. наук, **А.И. Яницкий**
(Поволжский государственный университет сервиса, г. Тольятти)

niccyper@mail.ru

МОБИЛЬНОЕ ТЕЛЕУПРАВЛЕНИЕ ЭЛЕКТРОМЕХАНИЧЕСКИМИ РЕКЛАМНЫМИ КОНСТРУКЦИЯМИ

Представлены современная структура системы телеуправления, её аппаратная и программная части. Показаны недостатки существующих технологий управления рекламными конструкциями и необходимость разработки программно-аппаратной системы мобильного телеуправления электромеханическими рекламными конструкциями. Определена архитектура системы на базе платформы Arduino (клиента) и сервера (передатчика) на базе платформы Android. Разработаны модель системы с использованием рационального унифицированного процесса (RUP) и унифицированного языка моделирования (UML), модель структур серверной и клиентской частей. Разработан алгоритм управления двигателем рекламного стенда, реализованный в клиентской части системы.

Ключевые слова: управление; электромеханическая рекламная конструкция; программно-аппаратная система; мобильное телеуправление; модель; Rational Unified Process; Unified Modeling Language; алгоритм управления двигателем.

The current structure of remote control system, its hardware and software are presented. The drawbacks of existing advertising structures control technologies and the need to develop hardware and software system of remote control for mobile advertising electromechanical designs are shown. The architecture system on the grounds of the Arduino platform (client) and the server (transmitter) on the Android platform is defined. The model of the system through the use of the Rational Unified Process (RUP) and the Unified Modeling Language (UML) and the model structures model of server and client parts are developed. The control algorithm of the advertising stand motor, implemented in the client part of the system is developed.

Keywords: control; electromechanical advertising design; hardware and software system; mobile remote control; model; Rational Unified Process; Unified Modeling Language; motor control algorithm.

Введение. Система телеуправления (СТУ) обычно включает в себя [1, 2] органы управления, кодирующее устройство, канал (или несколько каналов) связи, декодирующее устройство и выходные преобразователи (рис. 1).

Органы управления представляют собой совокупность элементов, на которые воздействует оператор или какое-либо автоматическое устройство для посылки команд с пункта управления на управляемый объект. Органы управления преобразуют воздействия оператора или автоматического устройства в соответствующие изменения напряжения или тока во входных цепях кодирующего устройства, т.е. в первичные сигналы управления, которые далее для краткости будем называть первичными сигналами. Органы управления содержат обычно элементы, воспринимающие воздействия оператора или автоматического устройства и преобразующие эти воздействия в изменение напряжения или тока в некоторой цепи; устройство запасания команд, обеспечивающее запоминание воздействия оператора (или автоматического устройства) и передачу соответствующих этому воздействию команд после передачи команд, посланных

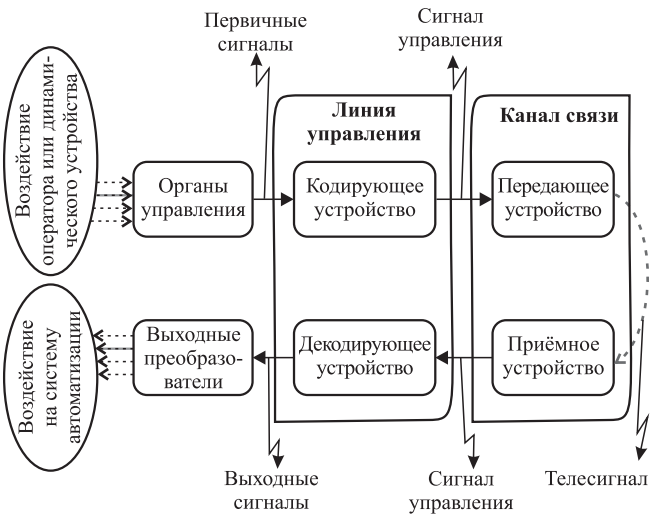


Рис. 1. Схема системы телеуправления

оператором ранее; устройство автоматического запуска (перевода в рабочее положение) кодирующего и передающего устройств для передачи команды.

Кодирующее устройство обеспечивает преобразование изменения напряжения или тока в его входных цепях (первичных сигналов) в соответствующие кодированные сигналы управления, подаваемые на вход канала связи.

Кодированный сигнал (сигнал управления) содержит необходимую совокупность признаков, определяющих передачу той или иной команды.

Передающее устройство обеспечивает преобразование энергии, поставляемой некоторым источником (обычно источником тока), в вид энергии или форму, наиболее удобную (эффективную) для передачи на расстояние, т.е. генерирование телесигнала, а также манипуляцию и модуляцию телесигнала по закону, задаваемому сигналом управления.

Приёмное устройство воспринимает телесигнал и преобразует его в сигнал управления.

Декодирующее устройство обеспечивает разделение сигналов, предназначенных для воздействия на различные выходные преобразователи, и в соответствии с передаваемой командой формирует необходимое изменение напряжения (тока) в воспринимающих частях этих преобразователей.

Выходные преобразователи в соответствии с изменениями напряжения или тока в выходных цепях декодирующего устройства (выходными сигналами) обеспечивают необходимое воздействие на исполнительные цепи. Для осуществления телеуправления приёмник и передатчик должны быть оснащены оборудованием, поддерживающим один стандарт связи. В качестве передатчика могут выступать устройства, изготовленные отдельно для конкретной системы телеуправления.

В настоящее время в сфере наружной рекламы заказчик всё чаще отказывается от стандартных средств доставки информации потенциальным клиентам в пользу высокотехнологичных рекламных установок, таких как видеоэкраны; сложные световые конструкции, использующие светодиоды; разнообразные кинематические конструкции; средства взаимодействия с аудиторией, сенсорные панели. Системы управления для этих конструкций (как программная составляющая, так и аппаратная) изготавливаются производителем самих конструкций. Естественно, их обслуживание и перенастройка выполняются фирмой-производителем либо подрядной организацией. Это приводит к ряду проблем ввиду невозможности оперативной перенастройки и ремонта конструкции, повторного использования аппаратной части, а также потере времени и денежных средств.

Рассмотрим предметно аппаратную и программную части систем телеуправления, предлагаемых сегодня на рынке. СТУ состоят в основном из двух компонентов:

микроконтроллеров, компьютеров, программируемых реле или таймеров, которые непосредственно управляют периферийными устройствами (светодиодами, двигателями, сервомоторами и т.д.) [3]. Как правило, они устанавливаются непосредственно на рекламной конструкции;

программно-аппаратных средств управления, обеспечивающих связь пользователя с аппаратными средствами управления: пультов, переключателей и т.п.

Микроконтроллерные сборки и платы изготавливаются непосредственно под каждую рекламную конструкцию. Зачастую микроконтроллеры перепрограммировать своими силами для использования в других рекламных конструкциях невозможно, в первую очередь, из-за того, что в этом не заинтересован их производитель. Изготовление же их своими силами для непрофильной организации не представляется возможным.

Программно-аппаратные средства управления также изготавливаются отдельно для каждого типа конструкции, и для их применения требуется обученный персонал. В качестве примера можно привести кинетическую конструкцию, подвешенную под потолком зала. Для доступа к пульту управления необходимо подниматься на большую высоту, проводные технологии здесь не подойдут, а беспроводные либо слишком дороги, либо вообще не предусмотрены фирмой-изготовителем. Персоналу приходится тратить время для получения доступа к управляющим системам. Зачастую необходимы частичный демонтаж облицовки, получение разрешений сторонних организаций для доступа к рекламной установке.

Постановка задачи. В связи с отмеченными недостатками существующих технологий управления рекламными конструкциями было принято решение разработать СТУ на базе платформ Arduino и Android с использованием технологий беспроводной связи. В работе [4], предложено программное и аппаратное обеспечение системы дистанционного управления

рекламным стендом на базе платформ Arduino и Android, которое может быть установлено практически на любые рекламные конструкции. Рассматриваемое решение имеет высокую гибкость в использовании и широкую область применения — от управления слаботочными светодиодными индикаторами до управления электроприводами мощностью до 2...3 кВт с потребляемым током до 10 А.

Входными данными для СТУ служат команды, вводимые пользователем с помощью средств графической среды, воспроизводимой на персональном мобильном устройстве. Часть команд заранее назначена на определённые кнопки и вводится нажатием на соответствующие кнопки на сенсорном экране. Часть команд являются реализацией методов интеллектуального управления, описанных ниже.

Выходными данными является управляющий сигнал, который передаётся по беспроводному каналу связи в принимающее устройство. Принимающее устройство, в свою очередь, преобразует его согласно заложенной программе в электрические импульсы, которые управляют стендом.

Однако нерешёнными остаются вопросы унификации подобных объектов, а также реализации интеллектуального управления такими объектами с учётом состояния окружающей среды, в частности выпадения атмосферных осадков на незащищённые элементы конструкции, а также их воровства и вандализма.

Таким образом, на базе имеющегося решения [4] целесообразно разработать модель программно-аппаратной системы мобильного телеуправления (ПАС МТУ) электромеханическими рекламными конструкциями с использованием рационального унифицированного процесса (Rational Unified Process — RUP) и унифицированного языка моделирования (Unified Modeling Language — UML) [5—7], позволяющую унифицировать разработку подобных систем для любых рекламных конструкций, включающих один или несколько электродвигателей постоянного тока, и алгоритм управления электродвигателем для реализации задач интеллектуального управления.

Методы решения. Для реализации системы телеуправления необходимо определиться с её архитектурой.

Так как система телеуправления состоит из сервера, расположенного на мобильном устройстве, и клиента, расположенного на самой рекламной установке, то выберем архитектуру клиент — сервер.

В серверной части будут происходить обработка и передача команд на клиентскую часть, ввод данных пользователем, авторизация клиентской части. Ввод данных будет осуществляться через графический интерфейс, передача данных — с помощью встроенного Bluetooth-передатчика.

В клиентской части будут происходить обработка команд с сервера и на их основе управление физическими элементами рекламной установки.

Данный вид архитектуры является единственно возможным для реализации СТУ по беспроводному каналу связи, так как в любом случае будут клиент (приёмник) и передатчик (сервер).

Для разработки серверной части ПАС МТУ использовано следующее программное обеспечение: JDK 6, Eclipse IDE, Android SDK, Android Development Tools (ADT). Всё это программное обеспечение бесплатное и распространяется в сети интернет свободно.

Для разработки клиентской части ПАС МТУ выбрана специализированная среда разработки Arduino.

ПАС МТУ состоит из клиента и сервера. Между клиентом и сервером поддерживается связь по радиоканалу. Сервер осуществляет обработку вводимой информации пользователем, выполняет поиск клиента, подключение

Рис. 2. Структура проекта Android-приложения ПАС МТУ

к клиенту, получает команды от пользователя, обрабатывает команды от пользователя, передает команды пользователя по радиоканалу клиенту.

Клиент осуществляет обработку поступающих команд от сервера, приём команд с сервера, обработку поступающих команд и подачу соответствующих импульсов на выходы платы.

Клиент (приёмник) выполнен на базе платформы Arduino, а сервер (передатчик) — на базе платформы Android.

Структура проекта Android-приложения включает в себя (рис. 2): AndroidManifest.xml — главный конфигурационный файл приложения, в котором хранится информация о версии кода, версии SDK, имени проекта и т.д.; /src — каталог, в котором хранятся все исходные коды приложения; src/ru.startandroid.develop.OurFirstProject.java — точку входа в приложение, которая содержит все Activity и основной код приложения; /res — каталог, в котором хранятся все внешние ресурсы, такие как анимация, картинки, видео, строковые переменные и т.п.; /res/drawable — каталог, в котором хранятся графические ресурсы; /res/layout/main.xml — файл, содержащий описание интерфейса Activity. В этом файле создается внешний вид Activity.

На рис. 3 приведена UML-модель структуры ПАС МТУ. Показан основной поток данных СТУ. Пользователь вводит команды в серверную часть, в ней они обрабатываются и пересылаются по радиоканалу в клиентскую часть. Клиентская часть обрабатывает полученный сигнал и отправляет необходимые управляющие сигналы подключённому к ней оборудованию — двигателю рекламного стенда.

На рис. 4 приведена UML-модель серверной части структуры ПАС МТУ. Показан поток данных в серверной части. При запуске серверной части CarContorlService Activity запрашивает у DeviceList Activity список доступных Bluetooth устройств. После этого DeviceList Activity находит Bluetooth-передатчик, с помощью него получает список доступных Bluetooth устройств и возвращает его в CarContorlService Activity. Пользователь, видя список доступных

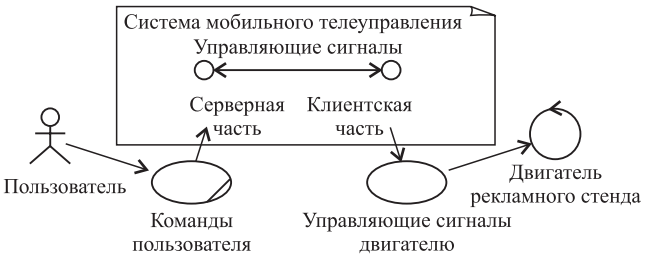


Рис. 3. UML-модель структуры ПАС МТУ

устройств, выбирает нужное. CarContorl Activity считывает выбор пользователя и посылает команду в CarContorlService Activity, который подключает ПАС МТУ к клиентской части при помощи Bluetooth. Команды пользователя, вводимые через графический интерфейс, считывает CarControl Activity и передаёт их в CarContorlService Activity. Оттуда команды с интервалом в 10 мс отправляются в Bluetooth-адаптер и отсылаются клиенту.

На рис. 5 приведена UML-модель клиентской части структуры ПАС МТУ. Показан поток данных в клиентской части ПАС МТУ. Команды пользователя передаются на Bluetooth-адаптер клиента. Bluetooth-адаптер

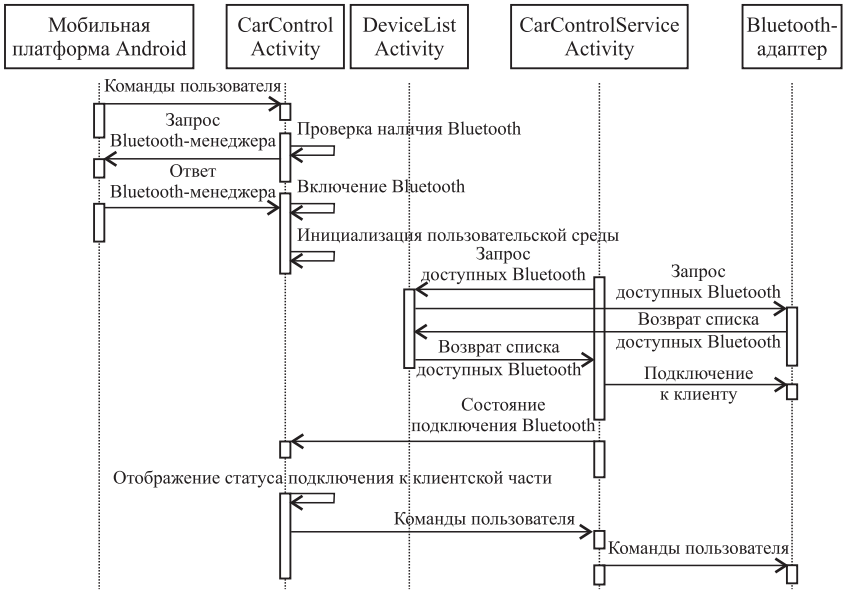


Рис. 4. UML-модель серверной части ПАС МТУ

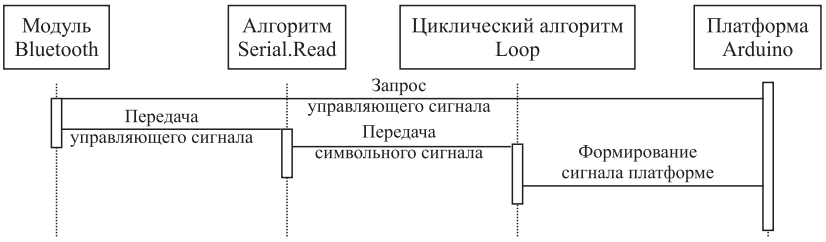


Рис. 5. UML-модель клиентской части ПАС МТУ

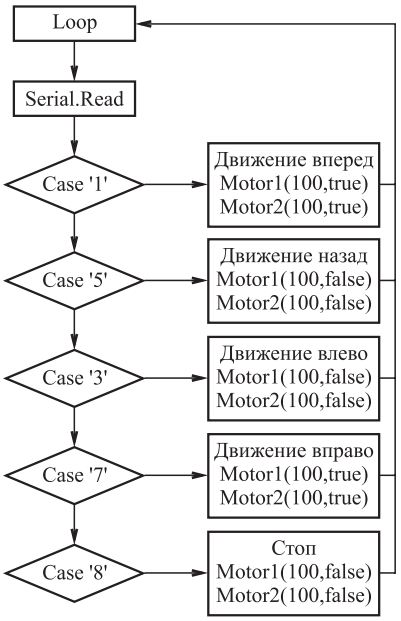


Рис. 6. Блок-схема алгоритма управления двигателем в клиентской части ПАС МТУ

подключён к Serial-порту платформы Arduino, поэтому алгоритм Serial.Read последовательно считывает пришедшие по радиоканалу символы, а циклический алгоритм Loop после их обработки посылает необходимые импульсы на двигатель рекламного стенда.

Блок-схема алгоритма управления двигателем рекламного стенда, показанная на рис. 6, позволяет управлять сразу несколькими двигателями: в данном случае двумя.

Алгоритм Loop содержит код, который выполняется постоянно — читаются входы, переключаются выходы и т.д. Этот алгоритм — ядро всех программ на Arduino и выполняет основную работу. Алгоритм Loop выполняется циклично и непрерывно.

Как видно из блок-схемы, приведённой на рис. 6, микроконтроллер платформы Arduino постоянно считывает информацию с последовательного порта в соответствии с алгоритмом Serial.Read, к которому подключён Bluetooth-модуль. Если приходит символ, попадающий под одно из условий Case, то микроконтроллер подаёт ток на нужный двигатель в нужной полярности.

Для устранения возможных ошибок клиентской части, например пропуска команд, отправляемых пользователем, данные поступают в клиент от сервера с интервалом 10 мс, что даёт время клиенту обработать предыдущую команду.

Заключение. Представлены современная структура системы телеуправления, её аппаратная и программная части. Показаны недостатки существующих технологий управления рекламными конструкциями и необходимость разработки программно-аппаратной системы мобильного телеуправления электромеханическими рекламными конструкциями. Определена архитектура ПАС МТУ на базе платформы Arduino (клиент) и сервера (передатчик) на базе платформы Android. Разработана модель ПАС МТУ с использованием рационального унифицированного процесса (RUP) и унифицированного языка моделирования (UML), UML-модели структуры ПАС МТУ серверной и клиентской частей. Разработан алгоритм управления двигателем рекламного стенда, реализованный в клиентской части системы. Полученные результаты позволяют унифицировать дальнейшую разработку подобных систем для любых рекламных конструкций, включающих один или несколько электродвигателей постоянного тока, и алгоритм управления электродвигателем для реализации задач интеллектуального управления. Предложенное решение позволяет удалённо управлять конструкцией, что приведёт к экономии времени, затрачиваемого персоналом на её обслуживание, снижению материальных затрат. Предлагаемая ПАС МТУ может быть установлена практически на любые рекламные конструкции. Доработка программного кода клиента (приёмника) для каждой конкретной конструкции не требует привлечения специалистов высокой квалификации ввиду относительной простоты средств программирования.

Библиографические ссылки

1. **Корнеев Н.В., Яницкий А.И.** Логическая модель программно-аппаратной системы мобильного телеуправления // Известия Самарского научного центра РАН. 2015. Т. 17. № 2-1. С. 171—177.

2. **Батков А.М., Тарханов И.Б.** Системы телеуправления. М.: Машиностроение, 1971. 192 с.

3. **Корнеев Н.В.** Микропроцессорный блок управления и контроля движения автомобиля // Автомобильная промышленность. 2008. № 8. С. 19—21.

4. **Корнеев Н.В., Корнеева Ю.В.** Система дистанционного управления рекламным стендом на базе современных программных платформ //Автоматизация. Современные технологии. 2014. № 9. С. 29—33.

5. **Программное** обеспечение IBM Rational: [Электронный ресурс] // IBM Corporation, 2016. URL: http://www-01.ibm.com/software/ru/rational/ (дата обращения: 20.01.2016).

6. **Корнеев Н.В.** Программная инженерия. Тольятти: Изд-во ПВГУС, 2014. 148 с.

7. **Documents** Associated with Unified Modeling Language (UML) Version 2.5: [Электронный ресурс] // Object Management Group, Inc. 1997—2016. URL: http://www.omg.org/spec/UML/2.5/ (дата обращения: 20.01.2016).

УДК 629.7.058

Б.В. Белик, В.С. Верба, д-р техн. наук, проф., **В.И. Меркулов,** д-р техн. наук, проф.
(АО "Концерн "Вега", г. Москва)

boris_belik@mail.ru

МОНИТОРИНГ ПОДВИЖНЫХ ИСТОЧНИКОВ РАДИОИЗЛУЧЕНИЙ С БЕССТРОБОВЫМ ОТОЖДЕСТВЛЕНИЕМ ИЗМЕРЕНИЙ

Рассмотрен алгоритм многообъектного сопровождения подвижных источников радиоизлучений с подвижного носителя с использованием бесстробовой идентификации измерений, проведено исследование эффективности рассмотренного алгоритма.

Ключевые слова: источники радиоизлучения; многообъектное сопровождение; пеленгация; станция радиотехнической разведки; бесстробовая идентификация.

The algorithm of multi-object following of the radio emissions mobile sources from mobile carriers through the use of measurements identification without stroboscope is considered. A study of the considered algorithm efficiency is carried out.

Keywords: radio radiation sources; multi-object following; direction finding; electronic intelligence station; identification without stroboscope.

Введение. Возрастание в окружающем пространстве источников радиоизлучений (ИРИ) различного назначения предопределяет необходимость их постоянного контроля [1]. Наиболее приспособленными для проведения такого контроля являются станции радиотехнической разведки (СРТР) [2], размещаемые как на земле, так и на летательных аппаратах (ЛА), когда требуется осуществлять мониторинг больших объёмов пространства.

В общем случае СРТР позволяют измерять достаточно большое количество параметров радиоизлучений [3], которые позволяют достоверно идентифицировать как тип ИРИ, так и его местоположение:

$$\mathrm{X} = [x_1, x_2, x_3, x_4, x_5, x_6]^{\mathrm{T}} = [f_{\mathrm{н}}, t_{\mathrm{и}}, F_{\mathrm{П}}, \Delta f, \varphi_{\mathrm{г}}, \varphi_{\mathrm{в}}]^{\mathrm{T}}, \quad (1)$$

где $f_{\mathrm{н}}$, $t_{\mathrm{и}}$, $F_{\mathrm{П}}$, Δf — несущая частота, длительность и частота повторения импульсов, ширина спектра; $\varphi_{\mathrm{г}}$, $\varphi_{\mathrm{в}}$ — бортовые пеленги ИРИ в горизонтальной и вертикальной плоскостях.

Необходимо отметить, что среди всех видов ИРИ наибольшую сложность представляет контроль излучателей, размещённых на ЛА. Геометрия взаимного расположения СРТР, размещённой на ЛА, и ИРИ наземного и воздушного базирования представлена на рис. 1.

Режим функционирования СРТР, в котором выполняется постоянный контроль нескольких ИРИ, в дальнейшем будем называть многообъектным сопровождением (МОС).

Обычно МОС выполняется в несколько этапов, включающих завязку фазовой траектории, прогноз состояния, отождествление измерений и коррекцию прогноза по отождествлённым измерениям [4].

Спецификой этого режима является необходимость не только измерять параметры радиосигналов, но и выполнять их отождествление на принадлежность конкретному ИРИ.

Под отождествлением (идентификацией) понимается процедура принятия решения о принадлежности поступивших измерений конкретным образцам ИРИ. Наиболее известным способом является стробовое отождествление [4—6]. Суть этого способа состоит в проверке попадания принятых измерений $x_{\mathrm{и}ji}$, где j — номер ИРИ, i — номер измеренной координаты, в многомерный строб $\Delta x_{ji}(k)$, сфор-

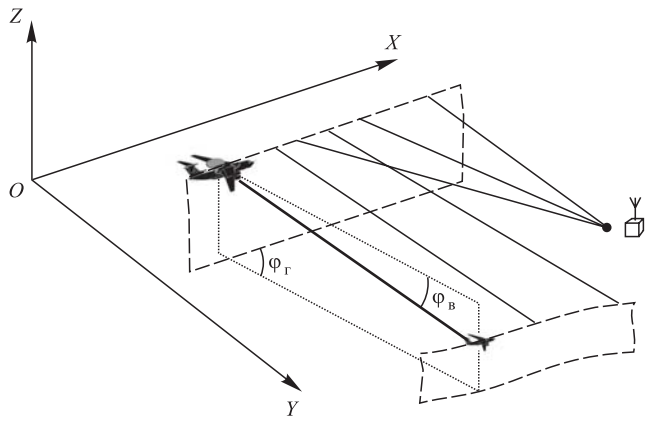


Рис. 1. Геометрия взаимного расположения СРТР и ИРИ

мированный относительно результатов экстраполяции $x_{эji}(k)$ предыдущих оценок, на момент поступления новых измерений. Если все компоненты измерений $x_{иji}$ попадают внутрь $\Delta x_{ji}(k)$, то принимается решение об их принадлежности j-му ИРИ.

Достоинство стробового отождествления — его простота.

Существенным недостатком идентификации измерений в стробах отождествления является её низкая достоверность при МОС маневрирующих носителей ИРИ. Это связано с необходимостью использования достаточно больших стробов как по пространственным координатам $\varphi_г$ и $\varphi_в$, так и по $f_н$, $t_и$, $F_П$ и Δf. Последнее предопределено возможностью практически мгновенного изменения этих параметров в процессе функционирования ИРИ.

Необходимо отметить, что в СРТР, использующих при МОС идентификацию в стробах отождествления, разрешающая способность по измеряемым координатам определяется не чувствительностью измерителей и параметрами антенн, а размерами стробов, что обусловливает ухудшение разрешающей способности.

Кроме того, сам факт выбора в качестве решающего правила порогового критерия является нерациональным, по крайней мере, по двум причинам. Одна из них обусловлена сложностью определения оптимального размера строба, адаптирующегося к быстро изменяющимся условиям функционирования. Другая предопределена низкой вероятностью правильного принятия решения вблизи границ стробов, когда даже небольшая погрешность измерений может изменить решение об их соответствии той или иной траектории на противоположное.

Более совершенными являются алгоритмы бесстробовой идентификации, основанные на формировании решающего правила по минимуму того или иного квадратичного функционала [4], в котором можно учесть и предысторию движения, и вероятность появления тех или иных траекторий, а также важность отдельных слагаемых для процедуры идентификации в целом и т.д. Такой подход позволяет получить высокодостоверное решение, не принимая во внимание абсолютную величину функционала, а лишь определив его минимальное значение в процессе перебора траекторий.

Цель работы — исследование работоспособности МОС подвижных ИРИ с подвижного носителя СРТР с использованием бесстробовой идентификации измерений.

Постановка и решение задачи. Пусть в контролируемом пространстве имеется J подвижных ИРИ, от каждого из которых на движущейся СРТР формируется совокупность измерений $x_{иji}$.

Необходимо сформировать оценки координат состояния (1) и их производных с использованием бесстробовой идентификации ИРИ. В работе рассматривается наиболее сложный для отождествления вариант, когда измеряются только бортовые пеленги $\varphi_г$, $\varphi_в$.

Предполагалось, что решение об обнаружении ИРИ уже принято и выполняется формирование оценок $\hat{\varphi}_г$, $\hat{\dot{\varphi}}_г$, $\hat{\varphi}_в$, $\hat{\dot{\varphi}}_в$ по алгоритму α, β-фильтрации:

$$\begin{cases} \hat{x}_{ji}(k+1) = x_{эji}(k+1) + \\ + \alpha_{ji}\left(x_{иji}(k+1) - x_{эji}(k+1)\right); \\ \hat{\dot{x}}_{ji}(k+1) = \dot{x}_{эji}(k+1) + \\ + \dfrac{\beta_{ji}}{\Delta t(k)}\left(x_{иji}(k+1) - x_{эji}(k+1)\right); \\ x_{эji}(k+1) = \hat{x}_{ji}(k) + \hat{\dot{x}}_{ji}(k)\Delta t(k); \\ x_{эji}(0) = x_{иji}(0); \\ \dot{x}_{эji}(k+1) = \hat{\dot{x}}_{ji}(k); \;\; \dot{x}_{эji}(0) = M\left\{\dot{x}_{ji}\right\}, \end{cases} \qquad (2)$$

где $\hat{x}_{ji} \Rightarrow [\hat{\varphi}_г, \hat{\varphi}_в]$; $\hat{\dot{x}}_{ji} \Rightarrow [\hat{\dot{\varphi}}_г, \hat{\dot{\varphi}}_в]$; α_{ji} и β_{ji} — постоянные коэффициенты, значения которых выбираются исходя из компромисса между точностью и устойчивостью фильтра; $\Delta t(k)$ — интервал между приходом измерений от одного ИРИ, на который выполняется прогноз.

Модель измерения, используемая в (2), определяется формулой:

$$x_{иji} = x_{ji} + \xi_{ji}, \qquad (3)$$

где ξ_{ji} — центрированные ошибки измерений, распределённые по гауссовому закону с дисперсией $D_{иi}$.

Отождествление измерений осуществляется по минимуму наиболее простого варианта квадратичного функционала

$$I_j = \sum_{i=1}^{J} \frac{\left(x_{иji}(k) - x_{эji}(k)\right)^2}{D_{иi}}. \qquad (4)$$

Суть бесстробовой процедуры отождествления состоит в следующем. Для каждой группы измерений, полученных от конкретного ИРИ, вычисляется функционал (4) для всех сопровождаемых объектов по их экстра-

полированным значениям. Затем из всей серии рассчитанных функционалов выбирается наименьший, который и определяет номер идентифицированного ИРИ.

Исследование эффективности МОС с бесстробовой идентификацией. Исследования проводились на основе имитационного моделирования движения СРТР и двух ИРИ, результатов измерений (3), алгоритмов фильтрации (2) и идентификации (4). При этом использовались измерения $\varphi_{иг}$ и $\varphi_{ив}$ со случайными ошибками, характеризуемыми СКО: $\sigma_{\varphi_г} = 0,5°$; $\sigma_{\varphi_в} = 2°$.

Предполагалось, что в начальный момент времени самолёт-носитель СРТР находится в точке с координатами $(x_с, y_с, z_с) = (0, 0, 10)$ км в системе координат $OXYZ$ и в течение времени наблюдения движется равномерно прямолинейно со скоростью $v_с = 200$ м/с вдоль оси OX, сохраняя высоту $z_с = 10$ км (см. рис. 1). Кроме того, полагалось, что наблюдаемые поочерёдно сигналы ИРИ поступают в СРТР с периодом $\Delta t = 1$ с.

В качестве показателей эффективности использовались текущие ошибки сопровождения по пеленгам и их производным и СКО этих ошибок.

Текущие ошибки сопровождения определились формулами:

$$\begin{aligned}
\Delta\varphi_{гj}(k) &= \left(\varphi_{гj}(k) - \hat{\varphi}_{гj}(k)\right);\\
\Delta\varphi_{вj}(k) &= \left(\varphi_{вj}(k) - \hat{\varphi}_{вj}(k)\right);\\
\Delta\dot{\varphi}_{гj}(k) &= \left(\dot{\varphi}_{гj}(k) - \hat{\dot{\varphi}}_{гj}(k)\right);\\
\Delta\dot{\varphi}_{вj}(k) &= \left(\dot{\varphi}_{вj}(k) - \hat{\dot{\varphi}}_{вj}(k)\right),
\end{aligned} \tag{5}$$

где $\varphi_{гj}(k)$, $\varphi_{вj}(k)$ и $\dot{\varphi}_{вj}(k)$, $\dot{\varphi}_{гj}(k)$ — истинные значения бортовых пеленгов и их производных j-го ИРИ в k-й момент времени; $\hat{\varphi}_{гj}(k)$, $\hat{\varphi}_{вj}(k)$, $\hat{\dot{\varphi}}_{гj}(k)$, $\hat{\dot{\varphi}}_{вj}(k)$ — их оценки, формируемые по правилу (2).

СКО ошибок сопровождения по пеленгам и их производным, в предположении эргодичности процесса, вычислялись в соответствии с формулами:

$$\begin{aligned}
\sigma_{\varphi_{гj}}(k) &= \frac{\sqrt{\sum_{n=1}^{k}\Delta\varphi_{гj}(n)^2}}{k-1};\ \sigma_{\dot{\varphi}_{гj}}(k) = \frac{\sqrt{\sum_{n=1}^{k}\Delta\dot{\varphi}_{гj}(n)^2}}{k-1};\\
\sigma_{\varphi_{вj}}(k) &= \frac{\sqrt{\sum_{n=1}^{k}\Delta\varphi_{вj}(n)^2}}{k-1};\ \sigma_{\dot{\varphi}_{вj}}(k) = \frac{\sqrt{\sum_{n=1}^{k}\Delta\dot{\varphi}_{вj}(n)^2}}{k-1}.
\end{aligned} \tag{6}$$

Исследования проводились в два этапа. На первом исследовалась чувствительность функционалов (4) к ошибкам измерений и их приходу от другого ИРИ, на втором — точность сопровождения в различным условиях функционирования.

В момент времени $t_1 = 0$ ИРИ находились в точках с координатами $(x_1, y_1, z_1) = (30, 100, 20)$ км и $(x_2, y_2, z_2) = (50, 100, 10)$ км. В течение всего времени наблюдения они двигались равномерно и прямолинейно со скоростями $(v_{x1}, v_{y1}, v_{z1}) = (50{,}0\ -150,\ 0)$ м/с и $(v_{x2}, v_{y2}, v_{z2}) = (-50{,}0\ -150,\ 0)$ м/с соответственно.

Таким образом, рассматривался наиболее сложный вариант движения ИРИ 1 и ИРИ 2 по пересекающимся траекториям.

Геометрия взаимного пространственного расположения СРТР, ИРИ 1 и ИРИ 2 в горизонтальной плоскости показана на рис. 2, на котором пунктирные линии отображают направления прихода сигналов от ИРИ.

Целью исследования чувствительности функционалов (4) к приходу измерений от различных ИРИ являлась проверка возможности их достоверной идентификации при движении ИРИ по близкорасположенным и пересекающимся траекториям. В рамках этого исследования для каждого ИРИ вычислялся функционал (4) как при поступлении собственных измерений, так и чужих.

На рис. 3 приведены результаты вычисления функционала (4) при условии, что измерения, поступившие от ИРИ 1, сравниваются

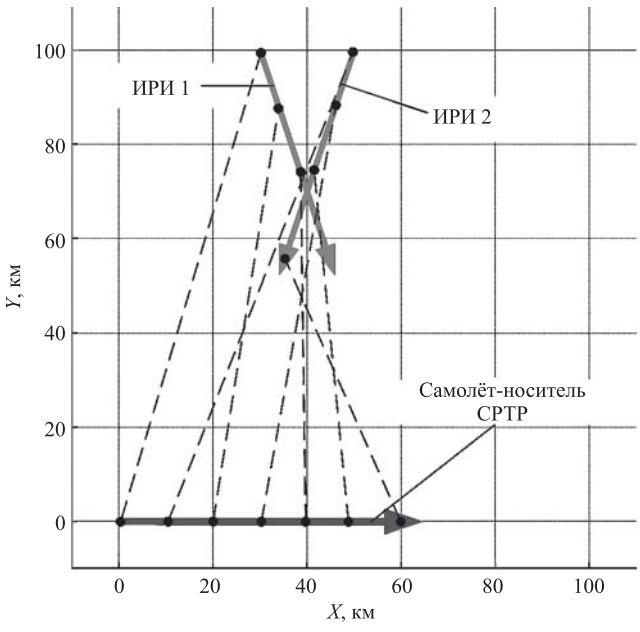


Рис. 2. Геометрия взаимного движения самолёта-носителя СРТР и ИРИ

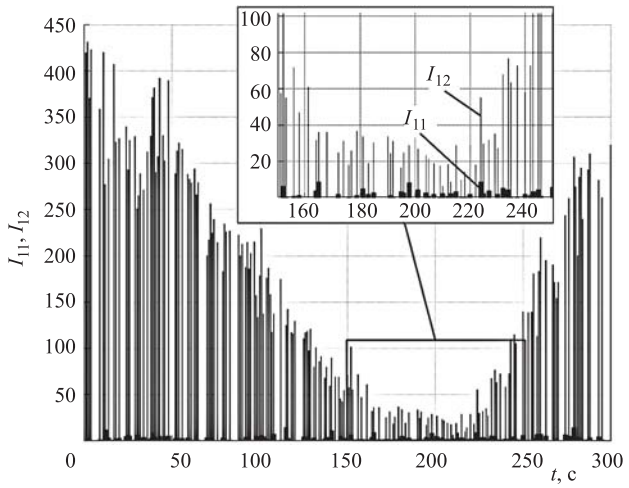


Рис. 3. Зависимость функционалов, вычисляемых по измерениям от ИРИ1

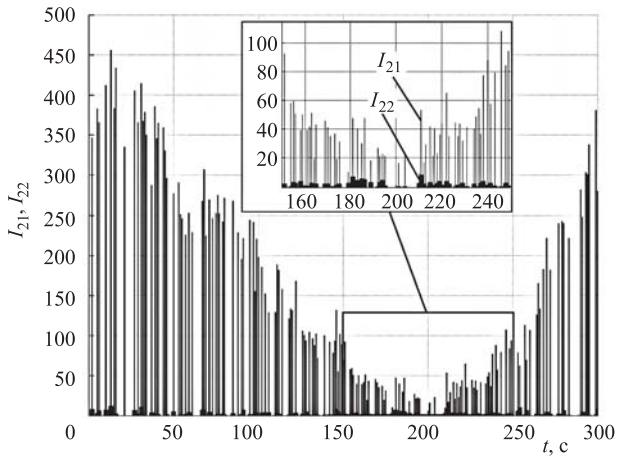


Рис. 4. Зависимость функционалов, вычисляемых по измерениям от ИРИ2

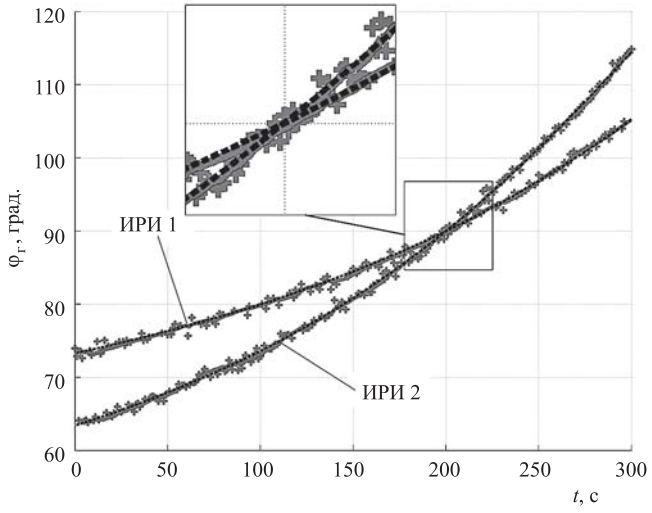


Рис. 5. Зависимости истинных значений, измерений бортовых пеленгов ИРИ в горизонтальной плоскости и их оценок от времени при полёте ИРИ по пересекающимся траекториям

с результатами экстраполяции его траектории (I_{11}) и с результатами экстраполяции траектории ИРИ 2 (I_{12}).

На рис. 4 приведены аналогичные результаты для измерений, поступивших от ИРИ 2.

Из рис. 3 и 4 следует, что функционалы, рассчитанные по чужим измерениям, превышают функционалы, рассчитанные по собственным измерениям, на порядок и более, даже на моменты движений по близко расположенным и пересекающимся траекториям.

Данное обстоятельство предопределяет способность квадратичного функционала (4) выполнять высокодостоверную идентификацию измерений на их принадлежность к конкретным ИРИ. В свою очередь, это позволяет перейти к исследованию алгоритма МОС в целом.

На рис. 5 показаны соответствующие выбранной геометрии взаимного перемещения самолёта-носителя и ИРИ (см. рис. 2) текущие пеленги (пунктирные линии), результаты их измерений (3) (крестики) и оценки (сплошные линии), сформированные по алгоритму (2), для горизонтальной плоскости.

Из рис. 5 видно, что алгоритм МОС с бесстробовой идентификацией обеспечивает высокую точность сопровождения даже на момент пересечения траекторий без их перепутывания, свойственного для стробовой идентификации [6].

На рис. 6, *а* сплошной линией представлен график зависимости от времени ошибок оценивания бортовых пеленгов ИРИ 1, а звез-

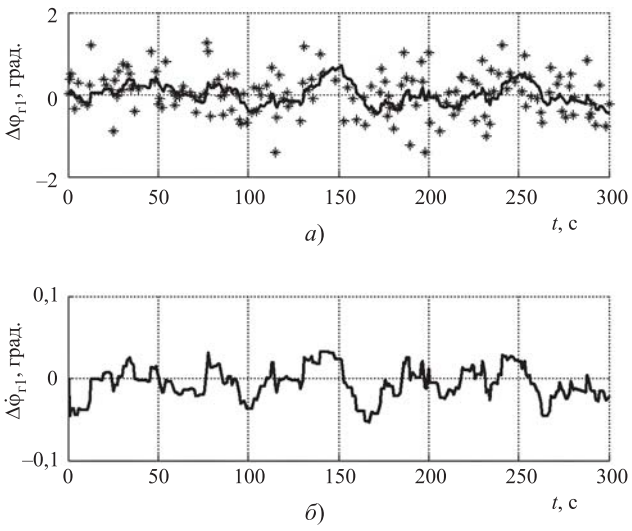


Рис. 6. Зависимости ошибок сопровождения ИРИ1:
а — по бортовым пеленгам; *б* — по производным пеленгов

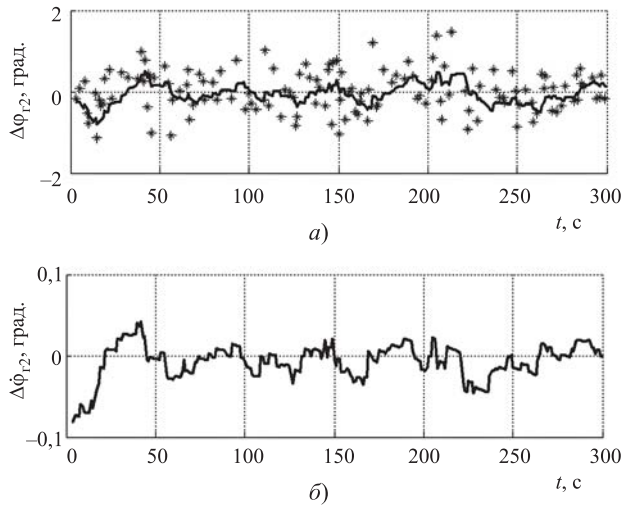


Рис. 7. Зависимости ошибок сопровождения ИРИ2:
а — по бортовым пеленгам; *б* — по производным пеленгов

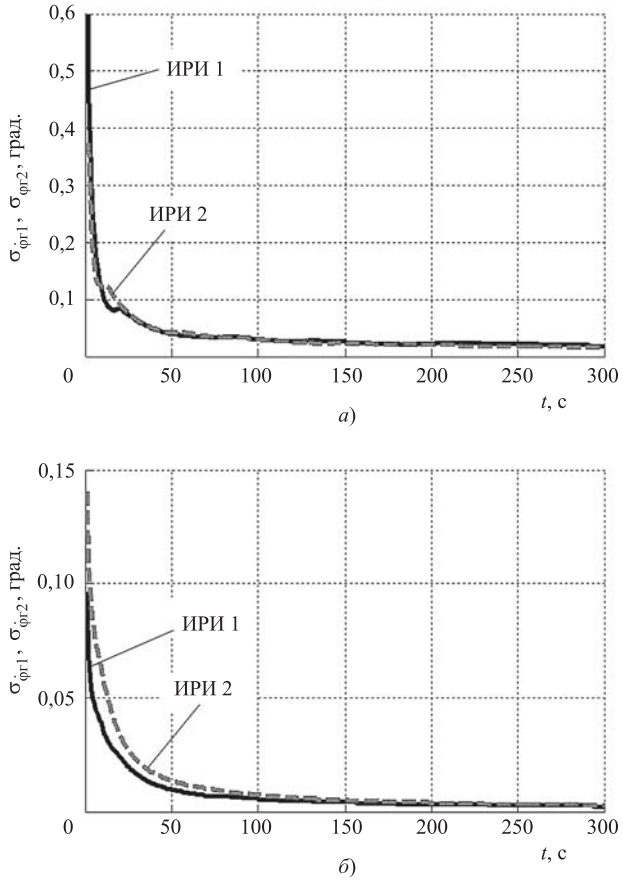


Рис. 8. Зависимости СКО оценивания бортовых пеленгов ИРИ в горизонтальной плоскости и их производных от времени:
а — СКО оценивания бортовых пеленгов; *б* — СКО оценивания их производных

дочками — ошибки их измерения. На рис. 6, *б* представлены графики зависимости от времени ошибок оценивания производных бортовых пеленгов ИРИ 1. Аналогичные графики для ИРИ 2 показаны на рис. 7.

Из рис. 6 и 7 видно, что текущие ошибки оценивания существенно меньше ошибок измерений.

Зависимость СКО ошибок оценивания бортовых пеленгов и их производных от времени, рассчитанных по соотношениям (6), показаны на рис. 8. Из графиков, представленных на рис. 8, следует, что точность фильтрации улучшается с увеличением времени полёта.

Проведённые исследования (см. рис. 5—8) подтверждают возможность обеспечения достаточно высокой точности МОС.

Заключение. Проведённые исследования способа МОС ИРИ с бесстробовой идентификацией подтвердили его способность сопровождать движущиеся ИРИ с подвижной СРТР с высокими показателями точности и достоверности даже на близко расположенных и пересекающихся трассах.

Работа выполнена при поддержке Российского фонда фундаментальных исследований (грант № 15-08-04000-а).

Библиографические ссылки

1. **Верба В.С., Меркулов В.И.** Проблемы разработки мобильных многодатчиковых систем мониторинга окружающего пространства // Полёт. 2015. № 5. С. 31—35.

2. **Радзиевский В.Г., Сирота А.А.** Теоретические основы радиоэлектронной разведки. М.: Радиотехника, 2004. 432 с.

3. **Белик Б.В., Верба В.С., Меркулов В.И. и др.** Авиационные системы радиоуправления / Под ред. В.С. Вербы и В.И. Меркулова. М.: Радиотехника, 2014. 376 с.

4. **Ярлыков М.С., Богачев А.С., Меркулов В.И., Дрогалин В.В.** Радиоэлектронные комплексы навигации, прицеливания и управления вооружением летательных аппаратов. Т.2. Применение авиационных радиоэлектронных комплексов при решении боевых и навигационных задач / Под ред. М.С. Ярлыкова. М.: Радиотехника, 2012. 256 с.

5. **Меркулов В.И., Тетеруков А.Г., Гребенников В.Б.** Стробовое отождествление сигналов с источниками радиоизлучения в условиях многоцелевой обстановки // Информационно-измерительные и управляющие системы. 2014. № 3. С. 35—38.

6. **Белик Б.В., Верба В.С., Меркулов В.И.** Мониторинг подвижных источников радиоизлучения со стробовым отождествлением измерений // Автоматизация. Современные технологии. 2016. № 6. С. 29—32.

УДК 621:658:004.94

Е.В. Орлова, канд. техн. наук, доц.
(Уфимский государственный авиационный технический университет)
ekorl@mail.ru

ОЦЕНКА СИСТЕМНОЙ ЭФФЕКТИВНОСТИ ТЕХНИЧЕСКИХ РЕШЕНИЙ В ПРОИЗВОДСТВЕННО-ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ СИСТЕМАХ

Представлены методики системной оценки и экономического обоснования эффективности новых технических решений, внедряемых в производственно-технологических системах. Рассмотренные методы учитывают тип новации, стадию её жизненного цикла, цели и задачи проектирования. Представлен пример оценки системной эффективности внедрения нового технологического процесса.

Ключевые слова: экономическая эффективность; системная эффективность; производственно-технологическая система; новая технология.

Methodologies of the system evaluation and economical substantiation of the effectiveness of new technical solutions implemented in production-technological systems are introduced. The considered methods take into account the type of innovations, its stage of the life cycle, the designing purposes and tasks. The evaluation example of the system efficiency from the new technological process implementation is introduced.

Keywords: economic efficiency; system efficiency; production and technological system; new technology.

Введение. Категория эффективности широко используется в разных областях науки и практики. В условиях системной модернизации экономики проблема оценки и обоснования необходимости внедрения новых техники и технологии в деятельность производственно-технологических систем (ПТС), выявление источников возникновения разнородных эффектов наряду с задачами управления производством и его развитием является одной из ключевых. Выдвижению этой проблемы на передний план современных исследований способствует необходимость повышения темпа изменений действующего механизма управления ПТС. Феномен эффективности изучается представителями разных научных школ и направлений, исследуется учёными в области теории управления, системного анализа и моделирования. Однако в научном сообществе пока не выработано единого подхода, позволяющего оценивать, прогнозировать и управлять эффективностью функционирования ПТС как сложной динамической многоуровневой организационной системой с учётом множества взаимосвязанных, часто стохастически, параметров и частных показателей эффективности подсистем.

Анализ существующих подходов к оценке эффективности ПТС. Эффективность является одной из характеристик качества системы, её способности давать определённый эффект. Экономическая эффективность отражает способность системы давать в процессе своего функционирования экономический эффект. Чем больше экономический эффект (результат) и меньше затраченные для получения этого результата ресурсы, тем выше экономическая эффективность. В ряде случаев оценка экономической эффективности ограничивается оценкой соотношения между полученными результатами и затратами на их получение. Такое определение сформировалось исторически в работах неоклассической экономической школы (А. Пигу, Х. Лейбенстайн).

Принципы предельной экономической эффективности, сформулированные В. Парето, относятся к центральным понятиям в современной экономической науке. Согласно этим принципам экономически эффективным можно считать такой уровень организации экономики и производства, при котором государство и общество извлекают максимум пользы из существующих ресурсов, причём невозможно улучшить значения одних характеристик системы, не ухудшая другие. На этом определении строится теория благосостояния, исследующая процессы справедливого распределения ресурсов в экономике и её эффективность.

С позиций системного подхода ПТС моделируется в виде чёрного ящика. Внутренняя

структура системы не раскрывается, а исследованию подвергаются только входы в модель (ресурсы) и выходы из неё (эффекты). Такое понимание (отождествление эффективности функционирования системы с ресурсоёмкостью результата) имеет ряд очевидных недостатков [1]. Так, ресурсоёмкость не отражает своевременность, необходимость и достаточность получения полезного эффекта. Одно и то же частное от деления эффекта на затраты может достигаться при различных значениях числителя и знаменателя, тогда как оценка эффективности требует в том числе учёта их абсолютных значений. Кроме того, неясны источники возникновения эффектов, следовательно, непонятно, как ими управлять. В условиях рынка прибыль в большей степени детерминируется рыночной ситуацией, чем затратами. Наконец, не специфицируется, какие эффекты и затраты следует включать в общую оценку качества системы, имея в виду мультипликативные (синергетические) эффекты, возникающие при взаимодействии результатов деятельности различных подсистем. Поэтому при оценке эффективности необходимо раскрывать сложную структуру причинно-следственных связей между результатом и приводящими к нему условиями в виде затрат, ресурсного потенциала, способности к развитию и др.

В работах по системному анализу и управлению под эффективностью понимается комплексное операционное свойство, характеризующее качество процесса функционирования системы и степень её приспособленности к достижению цели [2]. В понятие цель вкладываются различные оттенки — от идеальных устремлений (цель как выражение активности сознания) до конкретных целей — конечных результатов, достижимых в пределах некоторого временно́го интервала. Целевой подход позволяет более точно отразить различные режимы функционирования предприятия — нормальный (при простом или расширенном воспроизводстве), кризисный (выживание в экстремальных ситуациях), переходный (восстановление нормального функционирования после кризиса). Вопросы, связанные с целеполаганием, составляют одно из важнейших направлений в системном анализе. Существуют различные методики структуризации целей, отличающиеся способами представления системы, учётом стадий её жизненного цикла, формой выражения целей.

Согласно иному подходу к оценке эффективности ПТС рассматривается не изолированно от внешней среды, а в комплексе с дополняющей её системой и элементами этой системы — институциональной средой, конкурентами, поставщиками ресурсов, потребителями. В рамках такого подхода эффективной можно признать работу ПТС не в том случае, когда затрачивается меньше ресурсов, чем у конкурентов, а когда весь контур "ПТС—дополняющая система" устойчиво и бесперебойно функционирует в течение значимого периода времени. Подобная ситуация возникает, когда спрос на продукцию предприятия и спрос на привлекаемые ресурсы изменяются взаимосвязанно.

Предлагается эффективность предприятия и его ПТС идентифицировать с помощью двух основных факторов, совокупность которых определяет системную эффективность:

аллокативной эффективности, описывающей, насколько продуктивно распределяются те или иные ресурсы, а также насколько экономно они расходуются;

адаптивной эффективности, характеризующей результативность выполнения поставленных целей и задач, а также степень приспособленности различных подсистем к изменениям внутренней и внешней среды в процессе достижения поставленных целей.

По специализации бизнес-процессов аллокативная эффективность может объединять эффективности процессов производства, потребления, распределения и обмена; адаптивная — эффективности процессов организации, координации, обучения, мотивации, инновационной активности [3]. По сфере распространения эффекта можно выделять коммерческую, бюджетную, социальную и экологическую эффективности [4—6].

Методики экономического обоснования новых технических решений. Основным показателем экономической целесообразности внедрения технических решений — новой техники, технологии, автоматизированной системы управления, информационной технологии является экономический эффект, выражаемый в виде прироста прибыли (годовой или за весь период реализации технического решения). Создание новых технических решений даёт основной эффект за счёт увеличения объёмов выпускаемой продукции, более экономичного использования ресурсов (основных производственных фондов, оборотных фондов, трудовых ресурсов, финансовых ресурсов), снижения себестоимости продукции, т.е. определяет аллокативную эффективность. Адаптивная

эффективность ПТС может проявляться как результат грамотных, своевременных решений по изменению организационной структуры, механизмов принятия решений на разных уровнях управления, т.е. её оценка определяется эффективностью управления ПТС. Совокупный результат внедрения перечисленных изменений может быть измерен с помощью финансово-экономических показателей деятельности ПТС, таких как чистый денежный поток, рентабельность, срок окупаемости затрат, которые, в свою очередь, зависят от производственно-технологических показателей: производительности ПТС, технологической себестоимости, экологичности, безопасности, точности [7].

Методика экономического обоснования технического решения может быть сформирована по-разному и зависит от множества факторов: типа проекта по внедрению технического решения, стадии жизненного цикла проекта, наличия исходной информации о проекте, необходимости изучения отдельных сторон проекта и других факторов. Предлагается схема формирования методики экономического обоснования нового проекта, основанная на выделении двух факторов — типа проекта (технического решения) и стадии жизненного цикла: техническая подготовка производства, производство, эксплуатация.

С помощью ряда организационно-технических мероприятий экономический эффект может быть достигнут на каждой из перечисленных стадий. Экономический эффект $Э_1$ связан с сокращением трудоёмкости стадий технической подготовки производства. Эффект $Э_2$ зависит от темпов снижения трудоёмкости изделий на стадии освоения и увеличения выпуска новых изделий. Эффект $Э_3$ получается за счёт производства и использования дополнительного количества более эффективных машин и приборов, выпущенных благодаря его ускоренному освоению. Данные виды эффектов, получаемые при ускорении технической подготовки производства и освоения, а также в сфере эксплуатации, являются независимыми величинами, поэтому для получения результирующего эффекта могут быть просуммированы: $Э = Э_1 + Э_2 + Э_3$.

Унификация проектируемого изделия и технологического процесса, автоматизация подготовки позволяют снизить суммарные издержки предприятия по технической подготовке производства. Увеличение выпуска продукции сопровождается снижением себестоимости при плановом уровне производства вследствие сокращения трудоёмкости, уменьшения доли удельных постоянных расходов. Экономия за весь срок использования дополнительного количества изделий обусловлена годовой экономией затрат труда. Экономию можно оценить сопоставлением приведённых затрат по вариантам техники. Этот метод является достаточно эффективным при сравнении изделий различных классов, имеющих аналогичное назначение, а также при сравнении взаимозаменяемых вариантов принципиально отличных технологических процессов или оборудования. В случае необходимости оценить процесс возмещения ресурсов, инвестируемых в разрабатываемый проект технического решения, с позиции динамики денежных средств можно используя инструментарий инвестиционного анализа.

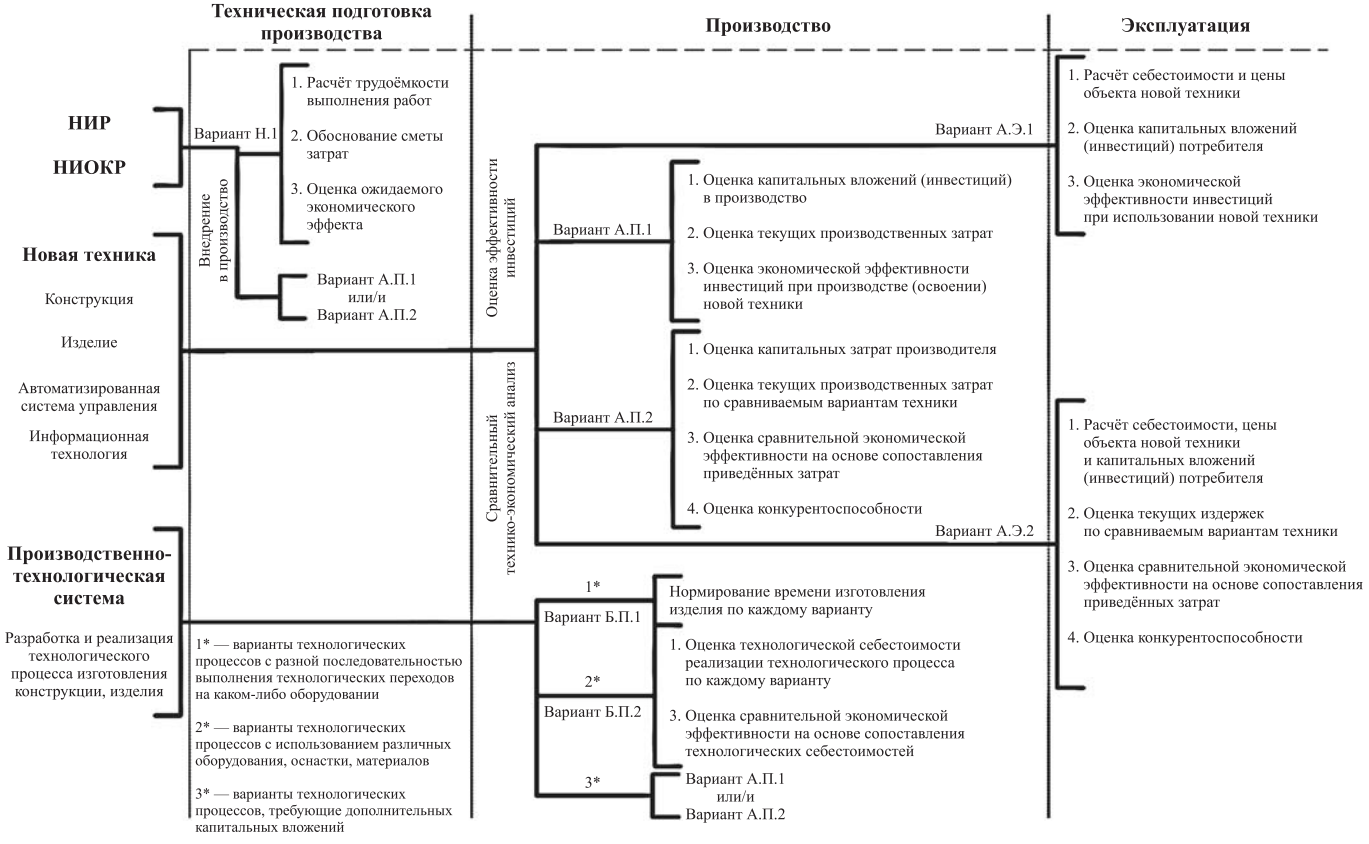
В зависимости от цели задачи оценки экономической целесообразности при оценке экономической эффективности проекта можно разбить на две группы. Первая группа — это задачи, связанные с оценкой экономического эффекта технических решений, имеющих аналоги (изучение различных вариантов производства и реализации продукта, сравнение нескольких возможных вариантов технологического процесса изготовления одного типа детали, изучение альтернативных способов инструментального обеспечения систем и др.), и с их сравнительной оценкой. Вторая группа — это задачи, связанные с оценкой процесса возмещения затраченных средств (инвестиций, капитальных вложений). Эти две группы задач непротиворечивы и могут решаться одновременно в рамках одного проекта. Например, можно показать, что разрабатываемое техническое решение превосходит базовый вариант по технологической себестоимости и оценить эффективность инвестиций в освоение данного технического решения с помощью показателей эффективности инвестиций.

Первую группу задач можно решать на основе сравнения показателей трудоёмкости, себестоимости, материалоёмкости, инвестиционных издержек, приведённых затрат по сравниваемым вариантам, выбрав проект с лучшими значениями этих показателей. Вторая группа задач исследования экономической целесообразности решается с использованием расчёта трудоёмкости и себестоимости всех работ на стадии научно-исследовательской и технической подготовки производства, а также оценкой экономической эффективности инвестиций в проект.

Обобщённая методика оценки экономической эффективности конкретного проекта технического решения может быть скомпилирована из отдельных методов, обладающих рядом достоинств, предпочтительной областью применения, долей конструктивности и возможностью интегрирования в стратегию развития производственной системы. Разработаны разные варианты методик, состоящие из группы методов, для оценки экономической эффективности трёх классов технических решений: 1 — научно-исследовательских проектов; 2 — производственно-технологических систем; 3 — новой техники. В зависимости от типа технического решения и стадии жизненного цикла проекта предложено семь разных по набору методов вариантов методик (рисунок).

Технические решения, для оценки экономической эффективности которых используются одинаковые по содержанию методы оценки, объединены в однородный класс — новая техника. К этому классу можно отнести такие технические решения, как новое изделие, новая конструкция, автоматизированная система управления, информационная технология. Методы, используемые для оценки эффективности новой техники, отличаются друг от друга спецификой расчёта отдельных показателей, но эти методы и методики являются похожими для всех видов новой техники. Таким образом, предлагаемая схема формирования методики экономического обоснования проектов является универсальной и может быть применена для оценки проекта любых направленности, сложности и сферы применения.

Оценка аллокативной эффективности внедрения новой ПТС. ***Расчёт производительности ПТС.*** Рассматриваются новый технологический процесс для обработки детали на станке токарной группы и приспособление для обработки детали типа "вал задний". В базовом технологическом процессе большинство операций выполняется на различных универсальных станках. Новый технологический процесс предусматривает использование современного оборудования с числовым программным управлением (ЧПУ), сокращение числа переходов, повышенные режимы резания, повышенную точность обработки. В качестве базового варианта предлагается обработка детали-представителя (вала заднего) на токарных станках с ЧПУ моделей АТ-600В1, SPT32NS, а также на универсальном токарном



Варианты методик оценки экономической эффективности технических решений (проектов)

станке 16К20. Годовая программа — 1000 шт. Режим работы — двухсменный при 40-часовой рабочей неделе. Производство серийное. В новом варианте токарные операции переносятся на современный станок с ЧПУ модели DMG CTX alpha 300. Операции получения заготовки (штамповка), термообработки и контроля являются аналогичными базовому варианту. Исходная информация по выполнению технологических операций по базовому и предлагаемому вариантам технологического процесса представлена в табл. 1, 2.

Таблица 1

Механические операции базового технологического процесса

Операция	Наименование и цена оборудования	Наименование и цена приспособления	Наименование и цена инструмента
010 Токарная	16К20, 170 000 руб.	3-кулачковый патрон, 3600 руб.	Проходной резец, 260 руб.
015 Токарная		3-кулачковый патрон, 3600 руб.	Проходной резец, 260 руб.; сверло 670 руб.
020 Токарная		3-кулачковый патрон, 3600 руб.	Проходной резец, 260 руб.
025 Токарная		3-кулачковый патрон, 3600 руб.	Проходной резец, 260 руб.
035 Токарная		3-кулачковый патрон, 3600 руб.	Токарный резец, 380 руб.
040 Токарная		3-кулачковый патрон, 3600 руб.	Токарный резец, 380 руб.; сверло 420 руб.
055 Токарная		3-кулачковый патрон, 3600 руб.	Токарный резец, 380 руб.
060 Токарная	16К20, 170 000 руб.	3-кулачковый патрон, 3600 руб.	Токарный резец, 380 руб.
065 Токарная с ЧПУ	АТ-600В1, 1100 000 руб.	Зажимное приспособление, 4700 руб., 3-кулачковый патрон, 3600 руб.	Токарные резцы для контурной обработки, 1180 руб.
070 Токарная	16К20, 170 000 руб.	3-кулачковый патрон, 3600 руб.	Токарный резец, 380 руб.
075 Токарная		3-кулачковый патрон, 3600 руб.	Сверло 270 руб.; зенкер 340 руб.
080 Токарная с ЧПУ	АТ-600В1, 1100 000 руб.	3-кулачковый патрон, 3600 руб.; люнет, 2800 руб.; крючок-рапира, 1300 руб.	Токарные резцы, 1350 руб.
085 Токарная	SPT32NC, 780 000 руб.	3-кулачковый патрон, 3600 руб.	Токарные резцы, 810 руб.
090 Фрезерная	6Т83, 230 000 руб.	Приспособление для фрезерования пазов, 27 600 руб.	Концевая фреза, 250 руб.
095 Фрезерная	6Т83Г, 210 000 руб.		Концевая фреза, 270 руб.; червячная фреза, 1250 руб.
100 Фрезерная	6Т83, 230 000 руб.		Концевая фреза, 300 руб.
095 Фрезерная	6Т83Г, 210 000 руб.	Приспособление для фрезерования, 4500 руб.	Червячная фреза, 1250 руб.

Таблица 2

Механические операции нового технологического процесса

Операция	Наименование и цена оборудования	Наименование и цена приспособления	Наименование и цена инструмента
010 Токарная	16К20, 170 000 руб.	3-кулачковый патрон, 3600 руб.	Токарный резец, 380 руб.
015 Токарная с ЧПУ	DMG CTX alpha 300, 4 350 000 руб.	Зажимное приспособление, 5200 руб.; люнет 3200 руб.	Инструментальная оснастка Coromant Capto, 53 000 руб.
020 Токарная с ЧПУ	DMG CTX alpha 300, 4 350 000 руб.	Зажимное приспособление, 5200 руб.; люнет 3200 руб.	Инструментальная оснастка Coromant Capto, 48 000 руб.
025 Фрезерная	6Т83Г, 210 000 руб.	Приспособление для фрезерования, 4500 руб.	Червячная фреза, 1250 руб.

Штучно-калькуляционное время определяется как

$$T_{\text{шк}} = T_{\text{шт}} + \frac{T_{\text{пз}}}{N_{\text{п}}} = \left(T_{\text{осн}} + T_{\text{всп}}\right)\left(1 + \frac{K}{100}\right) + \frac{T_{\text{пз}}}{N_{\text{п}}},$$

где $T_{\text{шт}}$ — норма штучного времени; $T_{\text{пз}}$ — подготовительно-заключительное время, затрачиваемое на подготовку рабочего и рабочего места для обработки деталей; $N_{\text{п}} = N_{\text{год}}/n_{\text{п}}$ — размер партии, $N_{\text{год}}$ — годовая программа, $n_{\text{п}}$ — число партий; $T_{\text{осн}}$ — основное технологическое время, затрачиваемое на качественное и количественное изменение предмета труда, т.е. изменение формы, размеров, внешнего вида, структуры и свойств, состояния и положения обрабатываемого предмета в пространстве; $T_{\text{всп}}$ — вспомогательное время, затрачиваемое на действия, обеспечивающие выполнение основной работы (загрузку машин, приёмы, связанные с управлением оборудования, контрольные измерения и др.); $T_{\text{осн}} + T_{\text{всп}}$ — оперативное время; K — коэффициент, отражающий долю суммарного времени ($T_{\text{осн}} + T_{\text{всп}}$) на обслуживание рабочего места, отдых и естественные потребности рабочего, $K = 0...7$ %.

Учёт основного технологического времени ведется по отдельным операциям технологического процесса, приведённым в табл. 3, 4, и определяется по формуле

$$T_{\text{осн}} = \frac{L}{nS},$$

где L — общая длина прохода инструмента в направлении подачи, $L = l + l_1 + l_2$ (l — длина обработанной поверхности; l_1 — длина участка врезания; l_2 — перебег резца, от 1 до 2 мм); S — подача; n — частота вращения заготовки.

Таблица 3

Штучно-калькуляционное время для базового технологического процесса

Операция	Номер перехода	L, мм	i	S, мм/об	n, об/мин	$T_{\text{осн}}$, мин	$T_{\text{всп}}$, мин	$T_{\text{шт}}$, мин	$T_{\text{шк}}$, мин
010 Токарная	1	170	10	0,15	800	14,17	14,17	30,32	30,62
015 Токарная	1	100	1	0,1	1500	0,67	0,67	1,43	1,73
	2	60	1	0,1	1500	0,4	0,40	0,86	0,16
020 Токарная	1	120	2	0,15	1000	1,6	1,6	3,42	3,72
	2	80	2	0,15	1000	1,07	1,07	2,28	2,58
	3	30	2	0,15	1000	0,4	0,4	0,86	1,16
025 Токарная	1	106	2	0,15	800	1,77	1,77	3,78	4,08
	2	109	1	0,1	1200	0,91	0,91	1,94	2,24
035 Токарная	1	109	2	0,12	1000	3,33	3,33	7,13	7,43
	2	120	2	0,14	1000	1,71	1,71	3,67	3,97
	3	90	2	0,12	1000	1,5	1,5	3,21	3,51
	4	22	3	0,12	1000	0,55	0,55	1,18	1,48
	5	20	3	0,12	1000	0,5	0,5	1,07	1,37
040 Токарная	1	21	2	0,14	1000	0,3	0,3	0,64	0,94
	2	28	1	0,12	1000	0,23	0,23	0,5	0,8
	3	14	3	0,12	1000	0,35	0,35	0,75	1,05
	4	16	3	0,12	1000	0,4	0,4	0,86	1,16
070 Токарная с ЧПУ	Контурная обработка					80	80	171,2	171,5
075 Токарная	1	25	2	0,15	1200	0,28	0,28	0,59	0,89
080 Токарная	1	90	2	0,12	1200	1,25	1,25	2,68	2,98
085 Токарная с ЧПУ	Контурная обработка					82	82	176,76	176,76
090 Токарная	Контурная обработка					45	45	96,3	96,6
095 Фрезерная	1	4	1	0,17	800	0,03	0,03	0,06	0,36
100 Фрезерная	1	30	1	0,15	800	0,25	0,25	0,54	0,84
105 Фрезерная	1	10	1	0,17	800	0,07	0,07	0,16	0,46
110 Фрезерная	1	140	1	0,1	450	3,11	3,11	6,66	6,96
								Суммарное время $T_{\text{шк1}}$	525,35

Таблица 4

Штучно-калькуляционное время для нового технологического процесса

Операция	Номер перехода	L, мм	i	S, мм/об	n, об/мин	$T_{осн}$, мин	$T_{всп}$, мин	$T_{шт}$, мин	$T_{шк}$, мин
010 Токарная	1	170	10	0,15	1000	11,33	11,33	24,25	24,55
015 Токарная с ЧПУ	Контурная обработка					76	76	162,64	162,94
020 Токарная с ЧПУ	Контурная обработка					81	81	173,34	173,64
045 Фрезерная	1	140	1	0,1	450	3,11	3,11	6,66	6,96
Суммарное время $T_{шк2}$									368,09

Вспомогательное время

$$T_{всп} = t_{уст} + t_{пер} + t_{изм},$$

где $t_{уст}$ — затраты времени на снятие и установку детали, $t_{уст} = 0{,}28T_{осн}$; $t_{пер}$ — время отдельных переходов, $t_{пер} = kT_{осн}$ (для универсального оборудования $k = 0{,}47$; для DMG CTX alpha 300 примем $k = 0{,}03$); $t_{изм}$ — время на измерение операционного размера, $t_{изм} = 0{,}25T_{осн}$.

Подготовительно-заключительное время $T_{пз} = 15$ мин. При годовой программе $N_{год} = 1000$ шт., числе партий $n_п = 20$ размер партии $N_п = N_{год}/n_п = 1000/20 = 50$ шт.

Расчёты времени выполнены по сравниваемым технологическим процессам. Их результаты приведены в табл. 3, 4. Видно, что трудоёмкость изготовления детали по новому технологическому процессу сократилась на 157,26 мин, что позволяет сделать вывод о росте производительности внедряемой ПТС.

Часовая эффективная производительность ПТС определяется как $W_{эф.ч} = \frac{1}{T_{шк}} N_п = \frac{1}{525{,}35/60} \cdot 50 = 5{,}71$ шт./ч для базового варианта и $W_{эф.ч} = \frac{1}{368{,}09/60} \cdot 50 = 8{,}16$ шт./ч для нового варианта.

Годовая эффективная производительность для базового варианта: $W_{эф.год} = W_{эф.ч}F_{н.год} = W_{эф.ч}cdh = 5{,}71 \cdot 2 \cdot 8 \cdot 246 = 22\,475$ шт. ($c = 2$ — число смен; $d = 8$ — продолжительность смены; $h = 246$ — число рабочих дней в году, равное числу дней в году за вычетом праздничных и выходных дней); а для нового варианта: $W_{эф.год} = 8{,}16 \cdot 2 \cdot 8 \cdot 246 = 32\,118$ шт.

Расчёт технологической себестоимости. Технологическая себестоимость может быть оценена по формуле

$$C_{техн} = C_{о.м} + C_{всп.м} + C_э + C_{з.п.осн} + C_{з.п.доп} + C_{соц} + C_{ам.об} + C_{б.э} + C_{ТОЭР},$$

элементы которой рассчитываются по технологическим операциям с учётом их трудоёмкости. Если расчёт эксплуатационных затрат (технологической себестоимости) выполняется для оценки сравнительной экономической эффективности и при этом для сопоставляемых вариантов технологического оборудования характерны равные нормы расхода основного материала (например, используется один и тот же вид заготовок), затраты по основным материалам $C_{о.м}$ и затраты на вспомогательные материалы $C_{всп.м}$ можно не учитывать в составе $C_{техн}$.

Затраты по основной заработной плате основных рабочих и наладчиков определяются так:

$$C_{з.п.осн} = \frac{T_{шк}}{60} \sum_{i=1}^{m} C_{тар i} n_i,$$

где $C_{тар i}$ — часовая тарифная ставка рабочего i-й квалификации; n_i — число рабочих i-й квалификации; m — число квалификационных групп рабочих.

Для основных производственных рабочих $C_{тар1} = 40$ руб./ч; для наладчиков $C_{тар2} = 60$ руб./ч, $n_i = 1$. Значение $T_{шк}$ берем из табл. 3, 4. Затраты по дополнительной заработной плате $C_{з.п.доп} = \alpha_д C_{з.п.осн}$ и единый социальный налог $C_{соц} = k_с(C_{з.п.осн} + C_{з.п.доп})$ рассчитываются с помощью коэффициентов $\alpha_д = 0{,}15$, $k_с = 0{,}3$.

Затраты на электроэнергию определяются как $C_э = N_с Ц_э k_{и.в} k_{и.м} k_п T_{шк}/60$. Коэффициент использования электродвигателей по времени $k_{и.в} = 0{,}6$; коэффициент использования электродвигателей по мощности $k_{и.м} = 0{,}6$; коэффициент, учитывающий потери электроэнергии, $k_п = 1{,}2$; мощность электродвигателей станка $N_с$ определяется видом оборудования; одноставочный тариф на электроэнергию, установленный региональным оператором, $Ц_э = 1{,}71$ руб./(кВт·ч).

Затраты на амортизацию оборудования $C_{ам.об} = \dfrac{C_n a T_{шк}}{100 F_{эф.год} \cdot 60}$. Стоимость нового оборудования C_n приведена в табл. 1, 2. Для уже используемого оборудования при расчётах применяется восстановительная стоимость; норма амортизации оборудования а = 18 %. Эффективный фонд времени работы оборудования $F_{эф.год}$ определяется с учётом требований технологического регламента производства и планируемых простоев оборудования в планово-предупредительных ремонтах, $F_{эф.год} = F_{н.год}\eta$ (η — коэффициент использования, связанный с потерей времени на ремонт оборудования, $\eta = 0{,}96...0{,}98$), $F_{эф.год} = 2 \cdot 8 \cdot 246 \cdot 0{,}98 = 3857$ ч.

Затраты на восстановление быстроизнашивающихся элементов $C_{б.э}$ складываются из затрат на использование приспособлений $C_{присп}$, режущего инструмента $C_{р.и}$ и управляющих программ $C_{у.п}$:

$$C_{б.э} = C_{присп} + C_{р.и} + C_{у.п}.$$

Таблица 5

Расчёт технологической себестоимости $C_{техн1}$ базового технологического процесса по элементам затрат

Номер операции	Затраты по основной и дополнительной заработной плате с отчислениями, руб.		Затраты на амортизацию оборудования, руб.	Затраты на техническое обслуживание и ремонты, руб.	Затраты на восстановление износа быстроизнашивающихся элементов, руб.			Затраты на электроэнергию, руб.	Технологическая себестоимость операции, руб.
	для основных рабочих	для наладчиков			Затраты на использование приспособлений	Затраты на использование режущего инструмента	Затраты на использование управляющих программ		
010	18,7	0	7,34	4,4	2,61	1,66	0	2,51	**37,25**
015	1,76	0	0,69	0,41	5,22	3,64	0	0,19	**11,9**
020	4,56	0	1,79	1,07	7,83	2,23	0	0,54	**18,03**
025	3,87	0	1,52	0,91	5,22	1,95	0	0,47	**13,9**
035	10,86	0	4,26	2,55	13,05	10,64	0	1,35	**42,7**
040	2,41	0	0,95	0,57	10,44	4,55	0	0,23	**19,15**
070	105	118	265,9	259,6	6,02	42,63	0,77	14,19	**711,9**
075	0,55	0	0,21	0,13	2,61	0,99	0	0,05	**4,53**
080	1,82	0	0,71	0,43	2,61	3,05	0	0,22	**8,84**
085	107,5	120,9	272,5	263,5	5,58	37,8	0,77	14,54	**723,2**
090	59,07	0	106,2	93,72	2,61	16,46	0	7,98	**256,05**
095	0,22	0	0,12	0,07	20	0,21	0	0,01	**20,63**
100	0,51	0	0,25	0,15	20	0,03	0	0,04	**21**
105	0,28	0	0,15	0,09	20	0,62	0	0,01	**21,16**
110	4,25	0	2,06	1,24	3,26	1,76	0	0,55	**13,12**
Итого по статье затрат	**321,36**	**238,9**	**664,65**	**628,84**	**127,06**	**128,22**	**1,54**	**42,88**	—
Суммарная себестоимость									**2153,45**

В свою очередь

$$C_{\text{присп}} = k_{\text{рем.пр}} \sum_{i=1}^{n} \frac{Ц'_{\text{присп}i}\alpha_{\text{пр}i}}{T_{\text{сл.пр}i}} \frac{T_{\text{шк}}}{60};$$

$$C_{\text{р.и}} = k_{\text{рем.р.и}} \sum_{i=1}^{m} \frac{Ц'_{\text{р.и}i}\alpha_{\text{р.и}i}}{T_{\text{ст.р.и}i}} \frac{T_{\text{шк}}}{60};$$

$$C_{\text{у.п}} = \frac{K_{\text{у.п}}}{T_{\text{обн}} N_{\text{год}}},$$

где n, m — числа видов приспособлений и режущего инструмента соответственно; $Ц'_{\text{присп}i}$, $Ц'_{\text{р.и}i}$ — стоимости соответственно приспособлений и режущего инструмента i-го вида, руб. (см. табл. 1, 2); $T_{\text{сл.пр}i}$ — средний срок службы приспособлений i-го вида, ч; $T_{\text{ст.р.и}i}$ — средняя норма стойкости режущего инструмента i-го вида, ч; $k_{\text{рем.пр}}$, $k_{\text{рем.р.и}}$ — коэффициенты, учитывающие затраты на ремонт соответственно приспособлений и режущего инструмента, $k_{\text{рем.пр}} = 0{,}25$, $k_{\text{рем.р.и}} = 1{,}4$; $\alpha_{\text{пр}i}$, $\alpha_{\text{р.и}i}$ — коэффициенты, учитывающие удельный вес работы соответственно приспособлений и режущего инструмента i-го вида в течение одного часа эффективного фонда времени; $K_{\text{у.п}}$ — затраты на разработку управляющих программ, руб.; $K_{\text{у.п}} = 3500$ руб. — для станка с ЧПУ, $K_{\text{у.п}} = 0$ — для станка без ЧПУ; $T_{\text{обн}}$ — период обновления управляющих программ, соответствующий средней продолжительности выпуска изделий (заготовок, деталей, сборочных единиц) различных наименований.

Затраты на техническое обслуживание и ремонты

$$C_{\text{ТОЭР}} = \frac{\alpha_{\text{рем}} K_{\text{об}} T_{\text{шк}}}{100 F_{\text{эф.год}} \cdot 60},$$

где $K_{\text{об}}$ — стоимость оборудования, подлежащего ремонту; $\alpha_{\text{рем}}$ — процент отчислений на ремонт оборудования, примем величину $\alpha_{\text{рем}}$ равной 0,12 от стоимости оборудования.

Итоговые результаты расчётов технологической себестоимости для базового и нового вариантов технологического процесса приведены в табл. 5, 6. Они демонстрируют, что экономия технологической себестоимости составила 1207,2 руб. на одну производимую деталь.

Расчёт сравнительной экономической эффективности. При сравнении конкурирующих вариантов техники и технологий показателями экономической эффективности являются годовой экономический эффект (в эксплуатации), срок окупаемости капитальных вложений (инвестиций), снижение стоимостных и трудовых затрат. Для рассмотренного технологического процесса снижение текущих удельных издержек $\Delta C_{\text{техн}} = C_{\text{техн1}} - C_{\text{техн2}} = 2153{,}45 - 946{,}25 = 1207{,}2$ руб. Оно обусловлено уменьшением трудоёмкости нового технологического процесса: $\Delta T_{\text{шк}} = T_{\text{шк1}} - T_{\text{шк2}} =$

Таблица 6

Расчёт технологической себестоимости $C_{\text{техн2}}$ нового технологического процесса по элементам затрат

Номер операции	Затраты по основной и дополнительной заработной плате с отчислениями, руб.		Затраты на амортизацию оборудования, руб.	Затраты на техническое обслуживание и ремонты, руб.	Затраты на восстановление износа быстроизнашивающихся элементов, руб.			Затраты на электроэнергию, руб.	Технологическая себестоимость операции, руб.
	для основных рабочих	для наладчиков			Затраты на использование приспособлений	Затраты на использование режущего инструмента	Затраты на использование управляющих программ		
010	15,015	0	7,27	35,3	2,61	1,94	0	2,01	**64,145**
015	99,64	112,1	48,23	116,9	6,1	18,19	0,77	13,48	**415,41**
020	106,18	119,5	51,4	137,7	6,1	17,56	0,77	14,36	**453,57**
045	4,25	0	2,06	1,24	3,26	1,76	0	0,55	**13,12**
Итого по статье затрат	**225,085**	**231,6**	**108,96**	**291,14**	**18,07**	**39,45**	**1,54**	**30,4**	—
							Суммарная себестоимость		**946,25**

= 525,35 − 368,09 = 157,26 мин и снижением отдельных статей технологической себестоимости внедряемой ПТС.

Заключение. Анализ исследований в области анализа эффективности предприятий и ПТС показывает, что в настоящее время не существует единого методологического подхода к её оценке. Представляется, что эффективность ПТС должна оцениваться комплексно, с учётом всех видов деятельности (производственной, финансовой, инвестиционной). Одним из возможных магистральных направлений в разработке системной модели оценки и управления эффективностью является использование бинарного критерия эффективности, отражающего совокупно продуктивность распределения ресурсов и результативность выполнения целей предприятия и его ПТС. Оценка и учёт степени взаимосвязи этих двух составляющих будут способствовать проявлению синергетического эффекта в функционировании экономической системы в целом.

Представленные методы оценки эффективности внедрения новых ПТС могут быть использованы в процессе системного анализа эффективности новых технических решений и объединены в различные методики в зависимости от типа и стадии жизненного цикла проекта. Группировка различных методов оценки эффективности позволяет на системной основе моделировать различные эффекты от реализации новых проектов технических решений.

Библиографические ссылки

1. **Гонтарева И.В., Нижегородцев Р.М.** Системная эффективность предприятия: сущность, факторы, структура. М., Киров, ВСЭИ, 2012. 152 с.

2. **Волкова В.Н., Денисов А.А.** Теория систем. М.: Высш. шк., 2006. 511 с.

3. **Сухарев О.С.** Теория эффективности экономики. М.: Финансы и статистика, 2009. 235 с.

4. **Орлова Е.В.** Системный анализ и моделирование экономической эффективности проектов: методический подход // Экономика и предпринимательство. 2013. Т. 7. № 12-4. С. 550—558.

5. **Орлова Е.** Управление эффективностью предприятия // Проблемы теории и практики управления. 2014. № 6. С. 123—129.

6. **Орлова Е.В.** Системно-синергетическая парадигма моделирования и управления социально-экономическими системами // Аудит и финансовый анализ. 2015. № 6. С. 405—411.

7. **Орлова Е.В.** Оценка экономической эффективности технических решений в дипломных проектах. Уфа, УГАТУ, 2009. 100 с.

Уважаемые авторы и читатели!

Редакция и редакционная коллегия сообщают:
межотраслевой научно-технический журнал "Автоматизация. Современные технологии"
успешно прошёл аккредитацию в ВАК для публикации работ
соискателей учёных степеней по отрасли науки:
05.00.00 — технические науки
и четырём группам специальностей:
05.02.00 — машиностроение и машиноведение;
05.07.00 — авиационная и ракетно-космическая техника;
05.11.00 — приборостроение, метрология
и информационно-измерительные приборы и системы;
05.13.00 — информатика, вычислительная техника и управление.
Напоминаем: статьи следует подавать в редакцию заблаговременно!
С правилами оформления статей можно ознакомиться на сайте mashin.ru

ПО СТРАНИЦАМ ЖУРНАЛОВ

Определение модуля упругости покрытия по ветви кривой нагружения при инструментальном индентировании. *Вестник машиностроения*. 2016. № 11.

Приведена методика расчёта модуля упругости материала тонкого твёрдого покрытия с использованием модифицированной теории Герца по ветви кривой нагружения диаграммы внедрения при инструментальном индентировании. Результаты исследования можно использовать при оценке упругих свойств упрочнённых поверхностей.

Технологическое обеспечение требуемой точности размеров расположения поверхностей детали. *Вестник машиностроения*. 2016. № 11.

Для однозначного выбора технологических баз при проектировании предлагается ввести понятия «конструкторская размерная база», «конструкторский размер», «технологический размер». Это позволит систематизировать все элементарные погрешности, возникающие при обработке, связав их с технологическими операциями и создаваемыми на них размерами установки, статической и динамической настроек, для чего разработан соответствующий алгоритм.

Технологические параметры операции вытяжки с утонением стенки осесимметричных деталей из двухслойных анизотропных материалов. *Вестник машиностроения*. 2016. № 11.

Рассмотрена математическая модель операции вытяжки с утонением стенки осесимметричных деталей из двухслойных анизотропных материалов в конических матрицах. Приведены результаты теоретических и экспериментальных исследований напряжённого и деформированного состояний, силовых режимов и предельных возможностей деформирования операции вытяжки с утонением стенки осесимметричных деталей из двухслойных анизотропных материалов в конических матрицах.

Деформационные процессы при формировании ответственных стальных отливок. *Заготовительные производства в машиностроении*. 2016. № 11.

Выполнен экспериментально-теоретический анализ процесса разрушения литых металлических твёрдых тел под нагрузкой. Разрушение литых деталей рассмотрено не как единовременное критическое событие, а как временной процесс постепенного накопления деструкций материала в виде последовательного разрыва структурных связей. Показано, что снижение опасности образования горячих трещин происходит по механизму сверхпластичности. Высокая пластичность металла и отсутствие пор снижают вероятность образования усталостных трещин.

Процессы получения полуфабрикатов и прутков из сплавов титана прессованием и прокаткой в многовалковых калибрах. *Заготовительные производства в машиностроении*. 2016. №11.

Представлены результаты исследования процессов получения полуфабрикатов и прутков из сплавов титана. Установлены оптимальные условия, при которых достигается повышенная точность размеров шестигранных профилей.

Изучение быстрозакристаллизованных порошков из отходов титановых сплавов ОТ-4 и ВТ20 после электроимпульсной обработки. *Заготовительные производства в машиностроении*. 2016. № 11.

Представлены исследования порошков — отходов титановых сплавов (ОТ-4 и ВТ20), полученных после электроимпульсной обработки на стандартном промышленном оборудовании.

Повышение ресурса работы деталей машин по критерию абразивной износостойкости лазерной наплавкой. *Упрочняющие технологии и покрытия* 2016. № 11.

Приведены результаты металлографических исследований и лабораторных сравнительных испытаний на абразивное изнашивание по схеме Бринелля—Хаворта наплавленных порошковых покрытий на никелевой основе и инструментальной стали ПР-10Р6М5 с добавками порошка 44712 на основе карбида вольфрама. Показано, что при твёрдости наплавленных слоев 58...61 HRC износостойкость покрытий на никелевой основе выше, чем стали 40Х в нормализованном и улучшенном состоянии в 10 и 4,6 раза соответственно. Абразивная износостойкость композиционного покрытия с карбидом вольфрама в 28 и 9 раз выше, чем стали Ст3 и наплавленного покрытия порошком ПР-10Р6М5 соответственно.