Автоматизация и Современные Технологии

ЕЖЕМЕСЯЧНЫЙ МЕЖОТРАСЛЕВОЙ НАУЧНО-ТЕХНИЧЕСКИЙ ЖУРНАЛ

ИЗДАЁТСЯ С 1947 ГОДА

11

2014

Главный редактор

В.Л. Белоусов — д.э.н., проф., МГУПИ

РЕДАКЦИОННАЯ КОЛЛЕГИЯ:

Бучаченко А.Л. — д.х.н., проф., ИПХФ РАН
Гусев А.А. — д.т.н., проф., МГТУ "СТАНКИН"
Дегтярёв Ю.И. — д.т.н., проф., МАИ
Елисеев В.А. — д.т.н., Ин-т инновац.-технологич. менеджмента
Иванов А.П. — д.э.н., проф., МГУПС (МИИТ)
Мальцева С.В. — д.т.н., проф., НИУ ВШЭ
Нефёдов Е.И. — д.ф.-м.н., ИРЭ РАН
Шебалин И.Ю. — к.ф.-м.н., ООО "Изд-во Машиностроение" (заместитель главного редактора)
Янович Е.Л. — д.э.н., проф., Кошалинский политехнич. ин-т (Польша)

Редактор-организатор — **Осипова В.Г.**
Редактор — **Селихова Е.А.**
Компьютерная вёрстка — **Конова Е.В.**

УЧРЕДИТЕЛИ:

МИНИСТЕРСТВО ОБРАЗОВАНИЯ И НАУКИ РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ
РЕСПУБЛИКАНСКИЙ ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИЙ НАУЧНО-КОНСУЛЬТАЦИОННЫЙ ЦЕНТР ЭКСПЕРТИЗЫ

Журнал зарегистрирован 9 апреля 1999 г. за № 018684 в Комитете Российской Федерации по печати

Журнал входит в перечень утверждённых ВАК РФ изданий для публикации трудов соискателей учёных степеней

ООО «Издательство Машиностроение»

Адрес редакции:
107076, Москва,
Стромынский пер., 4.
Тел.: (495) 661 3880.
E-mail: ast@mashin.ru; http://www.mashin.ru

Адрес издательства:
107076, Москва,
Стромынский пер., 4.
Тел.: (499) 268 3858,
факс: (499) 269 4897

© Издательство "Машиностроение",
"Автоматизация и современные технологии", 2014 г.

СОДЕРЖАНИЕ

АВТОМАТИЗАЦИЯ НАУЧНО-ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИХ И ПРОИЗВОДСТВЕННЫХ ПРОЦЕССОВ

Демиденков К.А., Мельников И.И., Евсеенко И.А. Автоматизированная система определения плотности транспортного потока и его состава на базе систем видеонаблюдения с использованием параллельных вычислений 3

Микаева С.А., Микаева А.С. Обеззараживание воды ультрафиолетовым излучением 8

СОВРЕМЕННЫЕ ТЕХНОЛОГИИ

Чернов С.А. Комбинация плоских и стержневых элементов в динамике стержневой системы, образованной стержнями коробчатого сечения 12

Коржев В.С. Анализ методов и средств контроля логических элементов и комбинационных цифровых схем . . . 15

Кучеренко П.А., Соколов С.В. Нелинейная стохастическая идентификация дискретных многоструктурных динамических объектов на основе алгоритмов оптимального оценивания 21

Ирзаев Г.Х., Адамова А.А. Автоматизация процесса формирования системы показателей для оценки технологичности конструкций изделия 27

Силич М.П., Грибков Е.И., Силич В.А., Аксенов С.В. Метод генерирования наименований кластеров территориальных образований при оценке уровня их развития . . . 34

Ерохин В.В., Елисеева Е.В. CAD/CAM/CAE-технологии в моделировании технических объектов 40

ОБЗОР ПЕРИОДИЧЕСКОЙ ПЕЧАТИ

По страницам журналов 45

CONTENTS

AUTOMATION OF SCIENTIFIC-RESEARCH AND PRODUCTION

Demidenkov K.A., Melnikov I.I., Evseenko I.A. The automatic determination system of the transport stream density and its structure on the grounds of video surveillance systems with use of parallel calculations 3

Mikaeva S.A., Mikaeva A.S. Water disinfecting by ultraviolet radiation 8

MODERN TECHNOLOGIES

Chernov S.A. Flat and rod elements combination in the rod system dynamics formed by cores of box-shaped section 12

Korzhev V.S. Methods and control devices analysis of logical elements and combinational digital schemes . . 15

Kucherenko P.A., Sokolov S.V. Nonlinear stochastic identification of discrete multistructural dynamic objects on the basis of optimum estimation algorithms 21

Irzaev G.Kh., Adamova A.A. Formation process automation of indicators system for a valuation of the product designs manufacturability 27

Silich M.P., Gribkov E.I., Silich V.A., Aksenov S.V. Generation method of territorial educations clusters names at an valuation of their development level 34

Erokhin V.V., Eliseeva E.V. CAD/CAM/CAE-Technology in technical objects modelling 40

SURVEY OF PERIODICALS

Periodicals review 45

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 факсу (499)269 4897, по e-mail: realiz@mashin.ru, на сайте www.mashin.ru (без почтовых наценок, с любого месяца, со своего рабочего места); телефоны для справок: (499) 269 6600, 269 5298

Сдано в набор 01.09.2014. Подписано в печать 24.10.2014.
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

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

© Издательство "Машиностроение", "Автоматизация и современные технологии", 2014 г.

УДК 004.932

К.А. Демиденков, И.И. Мельников, И.А. Евсеенко, канд. техн. наук, доц.
(Белорусско-Российский университет, г. Могилёв)
327igor@rambler.ru

АВТОМАТИЗИРОВАННАЯ СИСТЕМА ОПРЕДЕЛЕНИЯ ПЛОТНОСТИ ТРАНСПОРТНОГО ПОТОКА И ЕГО СОСТАВА НА БАЗЕ СИСТЕМ ВИДЕОНАБЛЮДЕНИЯ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ ПАРАЛЛЕЛЬНЫХ ВЫЧИСЛЕНИЙ

Рассмотрен принцип работы автоматизированной системы определения плотности транспортного потока и его состава. Предложен способ ускорения работы системы с помощью графических процессоров и параллельных вычислений. Приведён анализ транспортных детекторов различного типа для выбора наиболее подходящего при дальнейшем его использовании в рамках разрабатываемой системы.

Ключевые слова: система определения плотности транспортного потока, системы видеонаблюдения, нейронные сети, параллельные вычисления.

The work principle of the automated determination system of the transport stream density and its structure is considered. The acceleration way of system work by means of graphic processors and parallel calculations is proposed. The analysis of various type transport detectors is adduced for a choice of the most suitable detector at its further use within developed system.

Key words: determination system of a transport stream density, video surveillance system, neural networks, parallel calculations.

Введение. В настоящее время системы видеонаблюдения активно используются в различных областях. Всё большее значение они приобретают и в области управления дорожным движением. Известны автоматизированные системы, которые позволяют распознавать внештатные ситуации на дороге, а также номер транспортного средства без участия человека. Также существуют проекты по созданию автоматизированных систем определения плотности транспортного потока и его характеристик на базе систем видеонаблюдения.

Такие системы могут использоваться как независимо, так и в составе автоматизированных систем управления дорожным движением (АСУДД), которые позволяют значительно повысить эффективность управления дорожным движением при растущем автопарке. По данным Министерства транспорта и коммуникаций Республики Беларусь по состоянию на 01.01.2010 насчитывалось 3433 тыс. автотранспортных средств, из которых 83,6 % приходилось на автомобили [1]. За период с 2005 по 2009 г. число автотранспортных средств возросло на 21 %, а уровень автомобилизации населения Беларуси повысился с 280 до 340 автотранспортных средств на 1 тыс. населения. Увеличилась плотность транспортного потока, но пропускная способность дорог осталась прежней, что приводит к образованию заторов и пробок.

В Республике Беларусь (г. Минск) существует автоматизированная система "АГАТ", которая позволяет эффективно управлять дорожным движением и нуждающаяся в непрерывном получении информации о характеристиках транспортного потока в режиме реального времени. Сбор информации в системе "АГАТ" осуществляется, в основном, на базе инфракрасных и радиолокационных детекторов, которые обладают определёнными недостатками. В то же время на дорогах Республики Беларусь появляется всё больше систем видеонаблюдения, которые используются, главным образом, для видеофиксации нарушений. Однако потенциал таких систем гораздо больше: их можно использовать для автоматизированного анализа дорожно-транспортной обстановки и сбора статистической информации, что весьма необходимо для стремительно растущих областных центров республики.

Средства сбора информации о транспортном потоке. Системы видеонаблюдения. В АСУДД для сбора информации активно применяются транспортные детекторы различного типа: кон-

тактные, фотоэлектрические, ультразвуковые, магнитные и т. д. Аналитический обзор детекторов транспорта провела компания "AGA Group" (г. Бостон, США) [2]. Испытания проводились и с видеокамерами. В таблице представлены преимущества и недостатки наиболее часто используемых типов детекторов.

Как видно из таблицы, каждая технология обладает своими преимуществами и недостатками. Однако технология видеонаблюдения выглядит довольно перспективной: у неё большие преимущества перед детекторами другого типа, а некоторые недостатки могут быть успешно устранены. На сегодняшний день существуют довольно эффективные алгоритмы [3], которые позволяют нивелировать отрицательный эффект воздействия внешней среды на камеру, а современные *IP*-камеры проводить непрерывное наблюдение (днём и ночью) и упростить процесс обработки видеосигнала. Для Республики Беларусь не характерны жёсткие климатические условия, а плотность транспортного потока в среднем ещё не настолько высока, чтобы возникла острая проблема частого перекрытия больших объектов маленькими (эту проблему можно также решать подбором оптимального места расположения видеокамеры).

Системы видеонаблюдения всё больше привлекают интерес исследователей и разработчиков и интенсивно внедряются в повседневную жизнь, включая транспорт, а видеокамеры становятся всё более доступными. К тому же, на базе систем видеонаблюдения можно разрабатывать независимые автоматизированные системы определения плотности транспортного потока и состава движения, которые могут использоваться отдельно от какой-либо АСУДД, что актуально для относительно небольших, но интенсивно растущих городов (в частности областных центров Беларуси). Такие системы уже используются в Российской Федерации и Украине, но в Республике Беларусь подобных систем нет.

Например в г. Могилёве работает АСУДД, которая позволяет получать эффект "зелёной

Преимущества и недостатки некоторых технологий измерения

Технологии	Преимущества	Недостатки
Пассивная/активная инфракрасная	Простота установки Надёжность Устойчивость к воздействию окружающей среды	Покрывает 1—2 полосы движения Ограничение погодных условий для активных инфракрасных датчиков обычно подобно человеческому глазу Классификация базируется на исследовании высоты объекта, а не длины Работа пассивных датчиков ухудшается при дожде и снегопаде
Радар	Тяжёлые климатические условия не влияют на работу детектора Прямое измерение скорости Одновременно обслуживает несколько полос движения	Плохо работает на перекрёстках при подсчёте объёма транспортного потока
Ультразвуковая	Простота установки Одновременно обслуживает несколько полос движения	Работа ухудшается при сильных колебаниях температуры и турбулентности потока воздуха Измерение занятости полос на трассах при высоких скоростях может ухудшаться
Пассивная акустическая	Пассивное детектирование Одновременно обслуживает несколько полос движения Нечувствительность к осадкам	Уменьшение точности показаний при работе при низких температурах Ряд моделей этой технологии не рекомендован к применению в условиях движения "останов—трогание" Ухудшается работа в условиях посторонних звуковых помех
Видео	Одновременно обслуживает несколько зон и несколько полос движения Простота установки и перенастройки детектируемых зон Возможность сбора больших массивов данных Широкая зона детектирования	Воздействие тяжёлых климатических условий, тени, резкие перемещения транспортных средств из одной полосы в другую, обледенение, смена дня и ночи могут влиять на работу камер Некоторые модели камер восприимчивы к сильному ветру Большие объекты наблюдения могут загораживать маленькие

волны" на некоторых улицах и проспектах, предупреждая образование заторов [4]. Однако использование такой системы не достаточно. Необходимо оперативно собирать и обрабатывать информацию о характеристиках транспортного потока на различных участках дорог, что позволит быстро реагировать на изменение дорожно-транспортной обстановки (например, менять режимы работы светофоров), а также анализировать собранную информацию для составления прогнозов. Поэтому необходима автоматизированная система определения плотности транспортного потока и его состава.

В Могилёве не используются АСУДД и не применяются транспортные детекторы, однако установлено немало видеокамер для мониторинга дорожного движения, которые можно использовать для автоматизированного сбора и анализа информации о транспортном потоке. Подобная ситуация складывается и в других крупных городах Беларуси.

Автоматизированная система определения плотности транспортного потока и его состава на базе систем видеонаблюдения. Анализ систем обработки видеоизображения и распознавания объектов, показал, что процесс обработки и анализа идентичен для всех подобных систем [3] и состоит из нескольких этапов:

выделение переднего плана;

выделение и классификация движущихся объектов;

распознавание и описание движения найденных объектов.

На каждом этапе можно использовать различные алгоритмы, обладающие определёнными достоинствами и недостатками.

Разрабатываемая система состоит из трёх модулей (рис. 1): детектор движущихся объектов, идентификатор транспортных средств, калькулятор плотности транспортного потока. В детекторе движущихся объектов выделяются передний план и классификация движущихся объектов. В идентификаторе транспортных средств — распознавание движущихся объектов на базе нейронных сетей, которые успешно применяются в различных АСУДД для управления движением и распознавания номерных знаков транспортных средств. Калькулятор плотности транспортного потока рассчитывает плотность потока и определяет его состав, используя информацию о транспортных средствах, успешно распознанных идентификатором транспортных средств.

Основная нагрузка возлагается на методы этапа выделения переднего плана. От того, насколько точно выбранный метод позволяет отделить точки изображения, принадлежащие движущимся объектам, от точек статического фона, во многом зависит качество работы методов последующих этапов, а значит и всей системы в целом. Именно на этот метод влияет внешняя среда, и он, как правило, является самым ресурсоёмким во всей цепочке методов обработки видеоизображения и обнаружения движущихся объектов [3]. Следовательно, необходимо спроектировать детектор движущихся объектов таким образом, чтобы добиться высокой устойчивости его работы и снизить время цифровой обработки видеосигнала, несмотря на рост ресурсоёмкости.

В качестве средства сбора информации о транспортном потоке используем *IP*-камеры (сетевые камеры), которые проще в настройке, чем аналоговые видеокамеры, и позволяющие получать видеоинформацию сразу в цифровом формате (без промежуточных преобразований, которые снижают качество изображения), передавая его по обычному сетевому кабелю (технология Ethernet). Цена сетевой камеры может быть выше аналоговой, если рассматривать только камеры. Но если сравнивать стоимость за канал, то система, построенная на сетевых камерах, превосходящих аналоговые по функциональности и гибкости, становится сопоставима с аналоговыми системами, а зачастую оказывается дешевле их. Более низкая стоимость систем *IP*-видеонаблюдения получается из-за использования в них сетевого и компьютерного оборудования, поддерживающего открытые отраслевые стандарты,

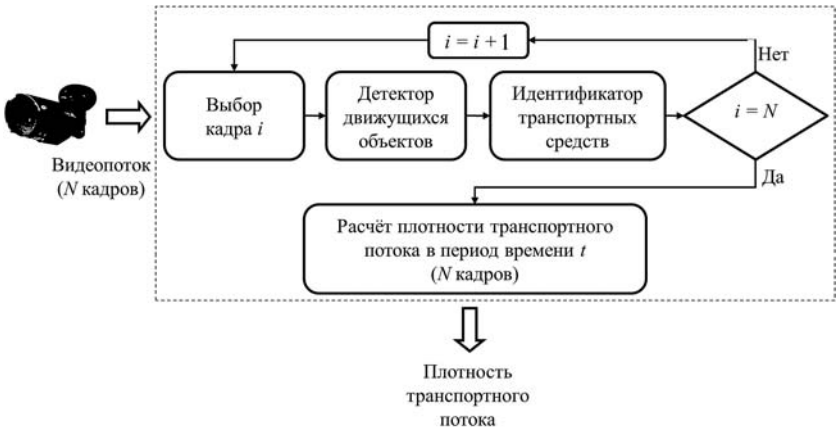


Рис. 1. Общая модель разрабатываемой системы

которые используют все производители в информационном секторе.

Использование *IP*-камеры позволит ускорить процесс цифровой обработки видеосигнала, однако этого не достаточно. Необходимы эффективные алгоритмы цифровой обработки видеоизображения. Некоторые из них (например, видеофильтры, повышающие качество изображения, компрессия) реализуются на аппаратном уровне. Но реализация более интеллектуальных алгоритмов (например, распознавание номеров автомобилей, лиц людей и т. п.) хотя и возможна на аппаратном уровне, но не целесообразна и дорогостояща, так как их необходимо адаптировать под конкретную задачу, в результате чего усложняется аппаратная часть и значительно повышается стоимость *IP*-камеры.

Наиболее распространёнными методами выделения переднего плана являются методы вычитания фона и оптического потока [3]. Эти методы требовательны к вычислительным ресурсам, если они используются применительно к видеофрагментам высокого разрешения. В данном случае видеонаблюдение будет проводиться за несколькими полосами одновременно (от 2 до 6 полос), так как это позволяет делать одна *IP*-камера высокого разрешения. Следовательно, данные методы приведут к увеличению времени обработки видеоизображения, а значит, быстродействие всей системы снизится. Можно использовать упрощённые схемы таких алгоритмов, делая определённые допущения, например, о том, что освещённость в кадре меняется медленно. Однако можно решать проблему быстродействия и с другой стороны.

Сегодня исследователи всё чаще обращаются к параллельным вычислениям, особенно к вычислениям на базе графических процессоров (GPU). Некоторые задачи из различных областей физики, астрономии, математики, биологии, криптографии могут быть успешно распараллелены, что увеличит скорость решения таких задач в сотни раз. Например, классическая задача сложения двух векторов может быть решена за один такт, значительно может быть ускорена задача подбора пароля. Причём такие исследования можно проводить, используя современные видеокарты, которые устанавливаются в персональных компьютерах.

Чтобы повысить быстродействие детектора транспортных средств, воспользуемся современными средствами распараллеливания процессов на базе многоядерных процессоров или видеокарт. Ускорить его работу можно разделением кадров видеоизображения на фрагменты, например, по количеству полос, за которыми ведётся наблюдение (рис. 2). Каждый фрагмент будет обрабатываться отдельным процессом или потоком.

Также можно ускорить работу идентификатора транспортных средств, распределив задачу распознавания выделенного движущегося объекта на множестве нейронных сетей. Для этого каждую нейронную сеть нужно обучить отличать ограниченный набор движущихся объектов. Условно говоря, каждая нейронная сеть станет "экспертом" по своей группе объектов (легковые автомобили, грузовые автомобили, автобусы и т. д.) и будет функционировать в рамках отдельного процесса или потока.

Данный подход успешно используется для статических изображений. В частности, для ускорения процесса распознавания иероглифов.

Общая схема работы системы, при которой процесс цифровой обработки видеоизображения и распознавания объектов распараллелен, показана на рис. 3. Кадр, приходящий с видеокамеры, разбивается главным процессом или потоком, например, на два фрагмента, которые передаются двум постоянно работающим процессам, параллельно осуществляющим цифровую обработку видеоизображения. На выходе каждого из этих процессов будет множество объектов

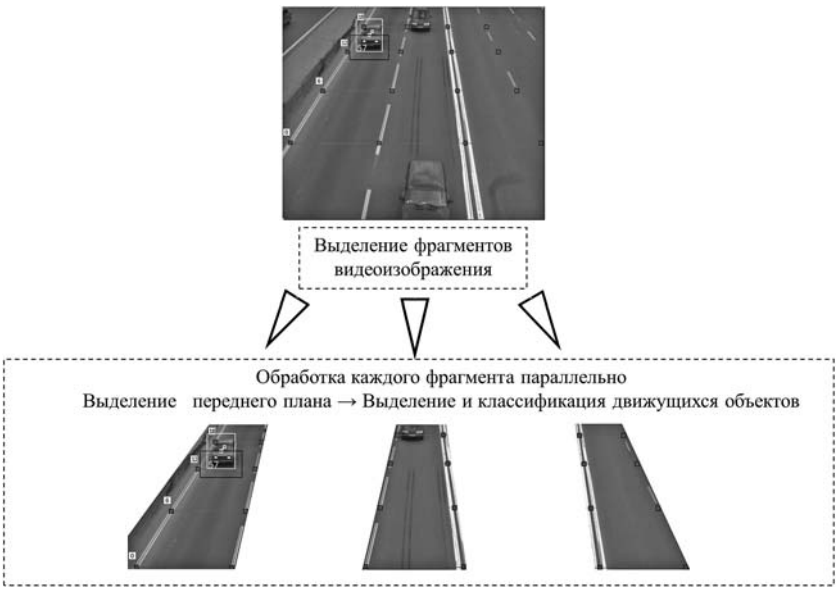


Рис. 2. Разбиение кадра на фрагменты для ускорения цифровой обработки видеоизображения

с определённым набором характеристик. Для каждого объекта порождён новый процесс его распознавания, который, в свою очередь, распараллелит задачу распознавания объекта на множестве нейронных сетей-экспертов, что приведёт к порождению новых параллельных процессов. Каждая нейронная сеть, проанализировав характеристики выделенного объекта, вернёт процессу, который распределил задачу, значение вероятности того, что он принадлежит к транспортному средству определённого класса. Этот процесс по совокупности информации от всех нейронных сетей примет решение о том, какого класса является идентифицируемое транспортное средство, и передаст данные об этом процессу, т. е. процессу обработки фрагмента видеоизображения.

Такая схема позволит ускорить работу системы, не прибегая к специализированному аппаратному обеспечению.

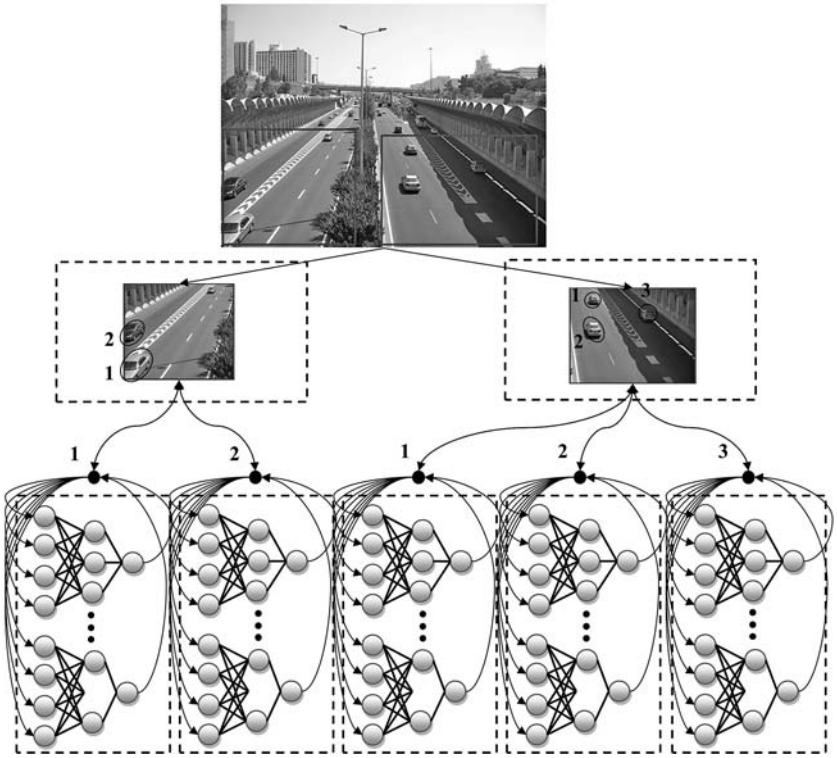


Рис. 3. Усовершенствованная схема работы разрабатываемой системы

Заключение. Рассмотрена возможность применения искусственных нейронных сетей совместно с алгоритмами цифровой обработки видеоданных для создания автоматизированной системы определения плотности транспортного потока и его состава. Предложен способ совершенствования данной системы с помощью параллельных вычислений. Обоснован выбор детекторов, которые будут использоваться для непосредственного сбора информации.

Разрабатываемая система позволит увеличить эффективность управления дорожным движением в растущих городах, обладая при этом низкой трудоёмкостью по установке и сопровождению. Также возможно использование данной системы, как модуля, в рамках существующих АСУДД.

Распараллеливание отдельных операций цифровой обработки видеоизображения и распознавания выделенных движущихся объектов с применением графических процессов позволит в разы увеличить скорость работы эффективных, но ресурсоёмких алгоритмов. Дальнейшие исследования, касающиеся разработки предложенной выше системы, позволят предложить наиболее оптимальную стратегию по их распараллеливанию.

Разрабатываемая система представляет интерес для областного управления государственной автомобильной инспекции г. Могилёва, так как позволит автоматически собирать и систематизировать информацию о дорожно-транспортной обстановке в городе, поможет оперативно реагировать на стремительные изменения характеристик транспортного потока (например, менять режимы работы светофоров, если зафиксирован рост плотности транспортного потока по какой-либо из улиц) и составлять прогнозы.

Библиографические ссылки

1. **Состояние** окружающей среды Республики Беларусь: нац. доклад / М-во природ. ресур. и окружающей среды Республики Беларусь, Гос. науч. учр-е "Ин-т природопользования Нац. академ. наук Беларуси". Минск: Белтаможсервис, 2010. 150 с.

2. **Аналитический обзор** детекторов транспорта [Электронный ресурс] / AGA Group Inc. URL: http://www.againc.net/ru/education/transport-engineering/10-detectors (дата обращения 15.07.2012 г.).

3. **Лукьяница А.А.** Цифровая обработка видеоизображений / А.А. Лукьяница, А.Г. Шишкин. М.: "Ай-Эс-Эс Пресс", 2009. 518 с.

4. **История** Госавтоинспекции Могилёвской области [Электронный ресурс] / Управление Госавтоинспекции УВД Могилёвского Облисполкома. Режим доступа http://gai.mogilev.by/gai/history.htm (дата обращения 30.07.2012 г.).

УДК 621.744.37

С.А. Микаева, д-р техн. наук, **А.С. Микаева,** канд. экон. наук
(Московский государственный университет приборостроения и информатики)
mikaeva@pechkin.npo.lit.ru

ОБЕЗЗАРАЖИВАНИЕ ВОДЫ УЛЬТРАФИОЛЕТОВЫМ ИЗЛУЧЕНИЕМ

Описаны технологии и группы систем обеззараживания воды, в зависимости от различных типов воды и условий применения систем ультрафиолетового (УФ) обеззараживания. Представлены основные параметры и технические характеристики УФ-систем.

Ключевые слова: системы обеззараживания воды, ультрафиолет, излучение, диапазон, лампы.

Technologies and groups of water disinfecting systems, depending on various water types and conditions of ultra-violet (UV) disinfecting systems application are described. Key parameters and technical characteristics of UV systems are presented.

Key words: water disinfecting systems, ultra-violet, radiation, range, lamps.

Ультрафиолетовое (УФ) излучение — часть солнечного спектра в диапазоне длин волн от 100 до 400 нм. Различают несколько участков спектра УФ, имеющих разное биологическое воздействие: УФ-А (315—400 нм), УФ-В (280—315 нм), УФ-С (200—280 нм), вакуумный УФ (100—200 нм). Из всего УФ-диапазона участок УФ-С часто называют бактерицидным из-за его высокой обеззараживающей эффективности по отношению к бактериям и вирусам. Максимальная эффективность инактивации микроорганизмов наблюдается от 250 до 270 нм. Именно на этот участок спектра приходится длина волны, генерируемая бактерицидными УФ-лампами низкого давления (254 нм) [1]. На рис. 1 представлен УФ в спектре электромагнитного излучения.

Технология УФ-обеззараживания воды основана на бактерицидном действии УФ-излучения. Основными промышленно применяемыми источниками УФ-излучения являются ртутные лампы высокого и низкого давления, в том числе их новое поколение — амальгамные [2]. Лампы высокого давления обладают высокой единичной мощностью (несколько кВт), но более низким КПД (9—12 %) и меньшим ресурсом, чем лампы низкого давления (КПД 40 %), единичная мощность которых составляет десятки и сотни Ватт. УФ-системы на амальгамных лампах менее компактны, но более энергоэффективны, чем системы на лампах высокого давления. Поэтому требуемое количество УФ-оборудования, а также тип и количество используемых в нём УФ-ламп, зависит не только от требуемой дозы УФ-облучения, расхода и физико-химических показателей качества обрабатываемой среды, но и от условий размещения и эксплуатации.

Обеззараживающее действие УФ-излучения обусловлено фотохимическими реакциями, в результате которых происходят необратимые повреждения ДНК и РНК микроорганизмов. УФ-излучение эффективно в отношении всех типов микроорганизмов (бактерий, вирусов, паразитар-

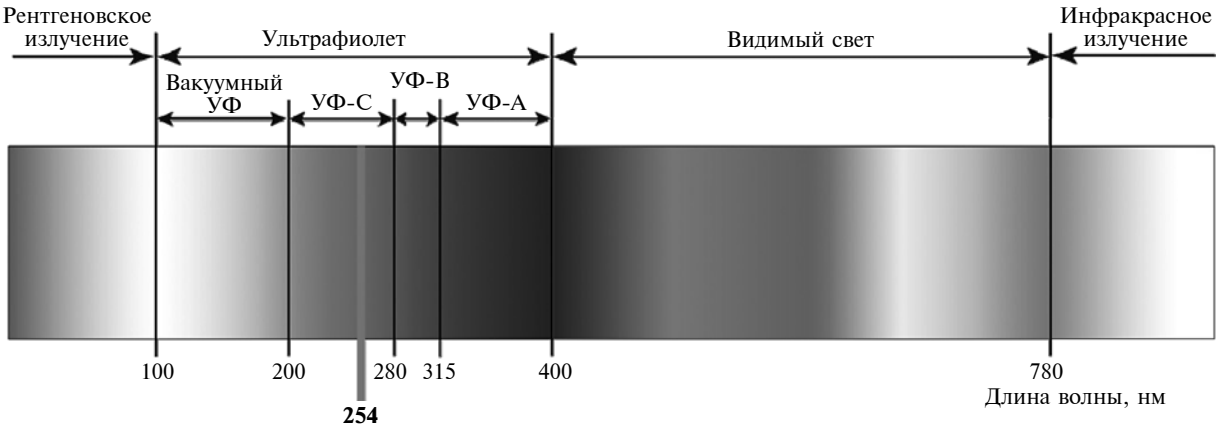


Рис. 1. Ультрафиолет в спектре электромагнитного излучения

ных простейших) и не приводит к образованию побочных продуктов. УФ-системы предназначены для УФ-обеззараживания воды из подземных источников водоснабжения; для подготовки питьевой воды из поверхностных источников водоснабжения в сочетании с хлорированием и озонированием; коммунальных сточных вод; промышленных сточных вод; сточных вод при повторном использовании в сельском хозяйстве (полив сельскохозяйственных культур различного назначения), парковых насаждений и т. д.; в технологических цепях бассейнов и аквапарков; воды производства аквакультуры (как для пресной, так и для морской воды); воды в оборотных промышленных системах водоснабжения и других отраслях промышленности в сочетании с другими технологиями.

Для обеззараживания различных типов воды и различных условий применения УФ-системы обеззараживания делятся на четыре группы: установки для обеззараживания воды УФ-излучением корпусные с амальгамными лампами (УДВ), корпусные УФ-системы с поперечным обтеканием (УДВ Pro), системы обеззараживания воды УФ-излучением на базе лоткового модуля (МЛП и МЛВ). В каждой из групп УФ-оборудование делится на серии A, B, E, K, G, F, N в зависимости от качества обрабатываемой воды, прежде всего её прозрачности в УФ-диапазоне. Оборудование каждой серии наиболее оптимально применять в указанных для неё диапазонах прозрачности (τ) обрабатываемой воды с точки зрения максимальной эффективности использования УФ-излучения и минимизации потерь напора. УФ-системы обеззараживания воды представлены на рис. 2.

УДВ — группа корпусного (напорного) оборудования, где лампы расположены вдоль обрабатываемого потока воды. УДВ Pro — группа корпусного оборудования, где лампы расположены поперёк обрабатываемого потока воды. МЛП — группа канального (лоткового) оборудования, где кассеты с лампами (модули) расположены в канале вдоль потока обрабатываемой воды. МЛВ — группа канального (лоткового) оборудования, где кассеты с лампами (модули) расположены вертикально поперёк потока обрабатываемой воды.

Безнапорные УФ-системы обеззараживания состоят из одного и более каналов, в которых располагаются не менее одной УФ-секции. Выбор типа модуля, количества их в секции и количества секций в канале проводится в соответствии с рекомендациями предприятия-изготовителя и требованиями, предназначенными для обеззараживания воды. Физико-химические и микробиологические показатели качества подаваемой на обеззараживание воды не должны превышать значений, для которых даны рекомендации предприятия изготовителя по качеству и технологии использования УФ-систем для очищенной воды.

Температура воды должна составлять от +1 до +30 °С. Возможность эксплуатации при более высокой температуре воды и эксплуатационные характеристики УФ-системы определяются требованиями, удовлетворяющими "Единым санитарно-эпидемиологическим и гигиеническим требованиям к товарам, подлежащим санитарно-эпидемиологическому контролю". Климатическое исполнение УФ-системы УХЛ, категория разме-

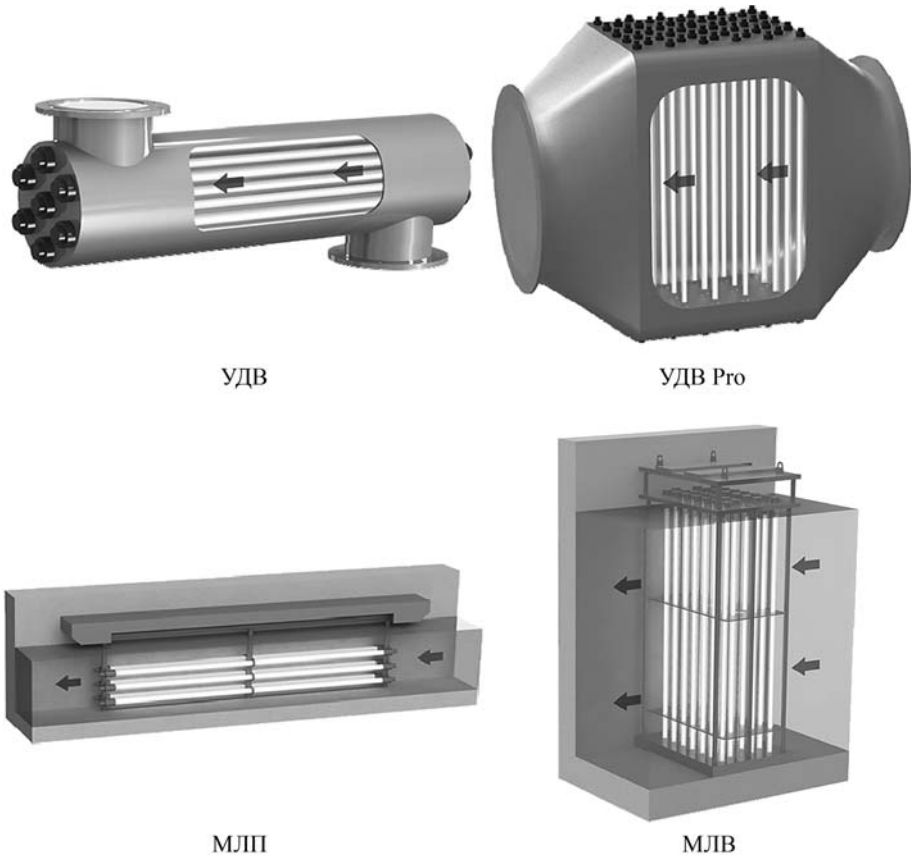


Рис. 2. Ультрафиолетовые системы обеззараживания воды

Технические характеристики УФ-систем

Наименование	Размерность	Значение
Напряжение питания	В	380/220 ± 10%
Частота питающего тока	Гц	50/60
Коэффициент мощности, не менее	—	0,96
Тип ЭПРА	—	ЭПРАЛ~3×380-6× × 350-2222-51
Тип лампы	—	DB 350 V
Срок службы лампы, не менее	ч	12 000
Количество включений/ выключений в течение срока службы, не более	шт.	5000
Количество каналов в УФ-системе	шт.	1
Количество секций в канале	шт.	4
Количество модулей в секции	шт.	1
Тип модуля	—	88МЛВ-24А350-МК
Количество ламп в модуле	шт.	24
Потребляемая мощность УФ-системы, не более	кВт	40
Тепловыделение в одном шкафу ЭПРА, не более	кВт	0,9
Габаритные размеры (длина×ширина×высота), не более:	мм	
УФ-модуль		750×800×2264
шкаф управления		606×505×2065
шкаф силовой		606×505×2065
шкаф ЭПРА		606×605×2065
пульт управления системой очистки УФ-модуля		500×240×540
затвор щитовой регулирующий		916×448×3675
затвор щитовой отсечной		956×490×4830
блок промывки		1050×490×1058
Масса, не более:	кг	
УФ-модуль		190
шкаф управления		180
шкаф силовой		180
шкаф ЭПРА		180
пульт управления системой очистки УФ-модуля		23
затвор щитовой регулирующий		275
затвор щитовой отсечной		390
блок промывки		72

щения по ГОСТ 15150—69. УФ-системы предназначены для эксплуатации в районах с умеренным и холодным климатом, в закрытых отапливаемых и вентилируемых помещениях при температуре окружающего воздуха от +1 до +35 °С и относительной влажности до 80 % при температуре 25 °С.

Основные параметры и технические характеристики УФ-систем представлены в таблице.

УФ-секция состоит из соединённых между собой модуля (модулей), шкафа (шкафов) пускорегулирующей аппаратуры (ЭПРА) и шкафа управления. Модуль лотковый представляет собой стойку с установленными в ней УФ-лампами

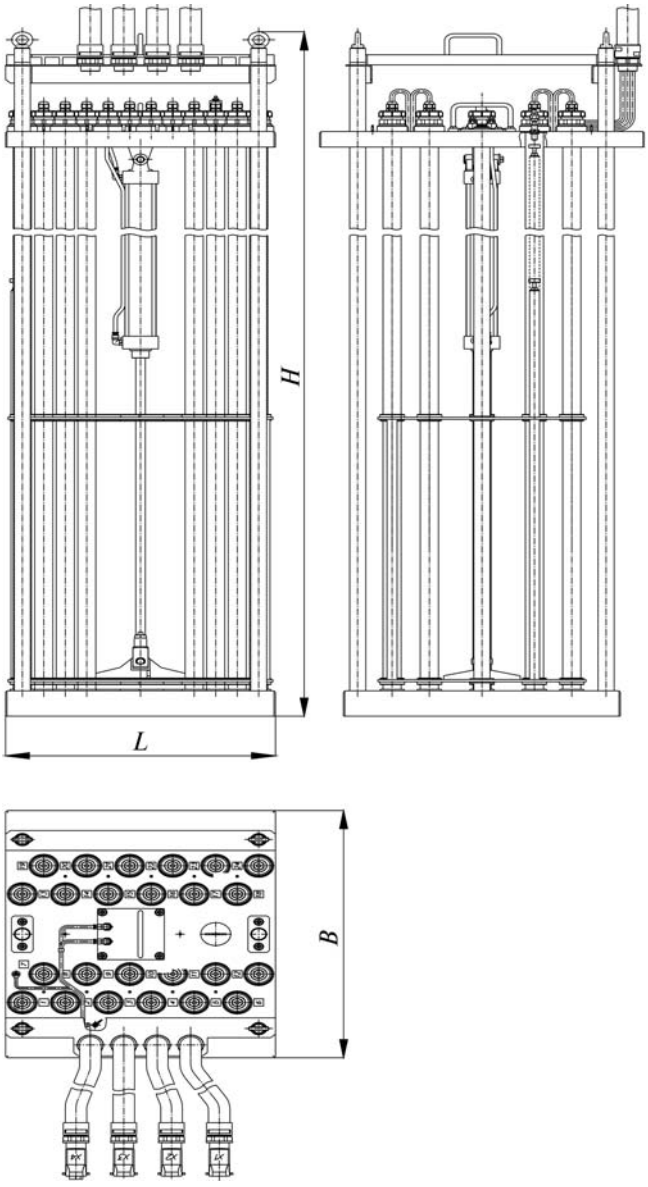


Рис. 3. Система обеззараживания воды ультрафиолетовым излучением:
H — высота; *L* — длина; *B* — ширина

в кварцевых чехлах. Модуль/модули устанавливаются в открытый канал. Секции укомплектованы амальгамными бактерицидными лампами низкого давления. Секции оснащаются системой механической очистки кварцевых чехлов с пневмоприводом или электроприводом. Система обеззараживания воды УФ-излучением на базе различных модулей представлена на рис. 3.

Технология УФ-обеззараживания может применяться как в системах водоподготовки и водоотведения, так и при обеззараживании воздуха и поверхностей. Основные преимущества УФ-технологии: высокая эффективность обеззараживания в отношении широкого спектра микроорганизмов, в том числе устойчивых к хлорированию микроорганизмов, таких как вирусы и цисты простейших. Обеззараживание уничтожает возбудителей инфекционных болезней: тиф, холера, дизентерия, вирусный гепатит, полиомиелит и др.; УФ-метод безопасен для людей; отсутствие влияния на физико-химические и органолептические свойства воды и воздуха, не образуются побочные продукты, нет опасности передозировки; УФ-излучение действует мгновенно. Время обеззараживания в проточном режиме 3—5 с; низкие капитальные затраты, энергопотребление и эксплуатационные расходы; УФ-системы и установки компактны и просты в эксплуатации, не требуют специальных мер безопасности.

Библиографические ссылки

1. **Микаева С.А.** Создание нового поколения люминесцентных устройств с улучшенными световыми характеристиками. М.: Научтехлитиздат, 2004. 210 с.

2. **Микаева С.А., Ашрятов А.А., Коваленко О.Ю., Микаева А.С.** Амальгамные лампы в установках по обеззараживанию воды // Автоматизация и современные технологии. 2012. № 9. С. 10—15.

Сварка. Резка. Контроль: Справочник. В 2-х томах. Под общ. ред. Н.П. Алешина, Г.Г. Чернышова. 2004. – 1136 с., тв. пер., 70×100 1/16

ISBN 5-217-03262-6

Цена с НДС 1430 руб.

В первом томе приведены теоретические основы сварки, виды сварных соединений, технологические основы проектирования сварных конструкций; сущность процессов, оборудование, сварочные материалы, выбор режимов сварки: дуговой, электрошлаковой, электрической, контактной, концентрированными источниками питания, давлением, газовой и т.д. Рассмотрены основы пайки, припои и технологии пайки различных материалов. Изложены сведения по газовой сварке и резке, а также гидро- и гидроабразивной резке; их способы, оборудование и области применения.

Во втором томе приведены технология и особенности сварки различных материалов: стали и сплавов, чугуна, цветных металлов и сплавов, тугоплавких металлов и сплавов, металлических композиционных материалов, разнородных металлов и сплавов. Рассмотрены способы наплавки, материалы для наплавки, виды наплавочных материалов, особенности восстановления деталей наплавкой. Даны технологии нанесения различных покрытий. Изложены основы неразрушающего контроля качества сварных соединений, организация и экономика сварочного производства, техническое нормирование сварочных работ, стандартизация и сертификация в сварочном производстве, безопасность труда и средства защиты.

Для инженерно-технических работников всех отраслей промышленности, а также рекомендуется как учебное пособие для студентов, обучающихся по направлению «Машиностроительные технологии и оборудование» может быть использован для подготовки рабочих.

Приобрести книгу можно непосредственно в издательстве "Машиностроение", прислав заявку в отдел реализации по факсу: (495) 269-48-97; по e-mail: realiz@mashin.ru; по почте: 107076, Москва, Стромынский пер., 4. ООО "Издательство Машиностроение". Справки по тел. (495) 269-66-00. http://www.mashin.ru

УДК 519.6:539.3

С.А. Чернов, канд. техн. наук
(Ульяновский государственный технический университет)
727122@mail.ru

КОМБИНАЦИЯ ПЛОСКИХ И СТЕРЖНЕВЫХ ЭЛЕМЕНТОВ В ДИНАМИКЕ СТЕРЖНЕВОЙ СИСТЕМЫ, ОБРАЗОВАННОЙ СТЕРЖНЯМИ КОРОБЧАТОГО СЕЧЕНИЯ

Рассмотрены балочные конечные элементы с узлами по контурам сечений в начале и конце стержня и с узлами по контуру сечения на одном конце, матрицы масс которых получены приведением инерционных сил и перемещений узлов стержня к узлам его контуров сечений.

Ключевые слова: стержень, коробчатое сечение, узлы по контуру сечения, матрица масс.

Braced final elements with knots on sections contours at the beginning and the end of a core and with knots on a section contour at one end which masses matrixes are received by inertial forces and core knots movements bringing to knots of its sections contours, are considered.

Key words: core, box-shaped section, knots on a section contour, a matrix of masses.

Сортаменты металлопроката и гнутых профилей состоят в основном из тонкостенных стержней открытых сечений, которые используются в конструкциях стержневых систем. Сечения тонкостенных стержней при их деформации не остаются плоскими (явление депланации), что исключает возможность использования гипотезы плоских сечений. В стержневых системах применяются и стержни замкнутого коробчатого квадратного сечения (труба профильная ГОСТ 8639—82), расчёт которых в полной мере основан на гипотезе плоских сечений. При расчёте реальной конструкции стержневой системы на основе только стержневых конечных элементов (КЭ) соединение стержней в узле, как правило, задаётся в некоторой точке, расположенной в зоне соединения. В этой точке определяются нагрузки и перемещения на концах КЭ [1].

Для расчёта стержневой системы с образованием пространственной расчётной схемы узла соединения стержней используется КЭ с узлами по контуру сечения, предложенный в работе [2]. Этот КЭ позволяет в зоне соединения стержней использовать КЭ оболочки, а вне узла — стержневые КЭ с узлами по контурам сечений. Аналогичный подход можно применить к решению задач динамики стержневой системы.

С математической стороны задачи формирования матриц масс КЭ с узлами по контуру сечения полностью совпадают с формированием соответствующих матриц жёсткости КЭ, рассмотренных в работе [2].

Получение необходимых зависимостей рассмотрим на конечно-элементной модели стержня *A—B* в местной системе координат *XYZ* (рис. 1), где приведены принятые шесть положительных направлений узловых сил, перемещений и последовательность их нумерации. Ось *X* направлена вдоль оси стержня, проходящей через центры тяжести его поперечных сечений. В каждом контуре сечения по *n* узлов. При этом обязательны узлы, в которых происходит изменение направления линии контура сечения.

Согласно принятым положительным направлениям узловых сил и перемещений и правилу

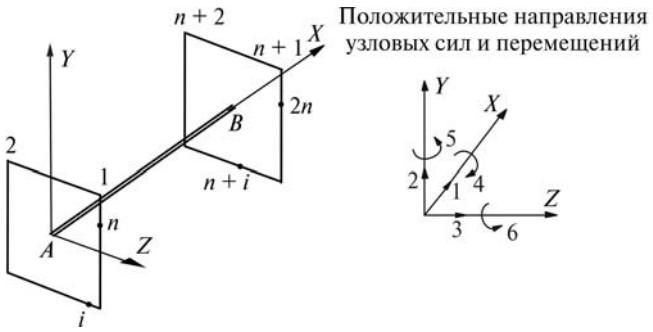


Рис. 1. Модель балочного конечного элемента с узлами по контурам сечений:
1 – 2*n* — узлы по контурам сечений в начале и конце стержня

переноса сил из узла A в узел i вектор $\{P_i\}$ узловых сил в i-м узле контура сечения запишется в виде

$$\{P_i\} = [h_i]\{P_A\},$$

где $\{P_A\}$ — вектор сил в узле A; $[h_i]$ — матрица переноса сил i-го узла:

$$[h_i] = \begin{bmatrix} 1 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 1 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 1 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & z_i & -y_i & 1 & 0 & 0 \\ -z_i & 0 & 0 & 0 & 1 & 0 \\ y_i & 0 & 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix}, \quad (1)$$

где y_i, z_i — координаты i-го узла контура сечения.

Если координаты y, z узлов контуров сечений в начале КЭ равны координатам в конце КЭ, то векторы $\{P_n\}$ и $\{P_{2n}\}$ узловых сил запишутся в виде

$$\{P_n\} = [H_n]\{P_A\}; \{P_{2n}\} = [H_n]\{P_B\}, \quad (2)$$

где $[H_n]$ — матрица переноса сил начала и конца балочного КЭ, сформированная из матриц переноса сил узлов (1):

$$[H_n] = \begin{bmatrix} h_1 \\ h_2 \\ \vdots \\ h_n \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} h_{n+1} \\ h_{n+2} \\ \vdots \\ h_{2n} \end{bmatrix}.$$

Из преобразований возмущающих узловых сил (2) следуют преобразования амплитудных значений узловых перемещений:

$$\{Z_A\} = [H_n]^T\{Z_n\}; \{Z_B\} = [H_n]^T\{Z_{2n}\}. \quad (3)$$

Уравнение равновесия балочного КЭ A—B с учётом инерции масс в конечно-элементной постановке определяется выражением [3, 4]:

$$\{P_{A-B}\} = ([K_{A-B}] - \omega^2[M_{A-B}])\{Z_{A-B}\}, \quad (4)$$

где $\{P_{A-B}\}$, $\{Z_{A-B}\}$ — вектор возмущающих сил и амплитудных значений перемещений узлов КЭ соответственно; $[K_{A-B}]$, $[M_{A-B}]$ — матрицы жёсткости и масс КЭ A—B [5]; ω — частота возмущающей силы.

Второе слагаемое (инерционная составляющая) в уравнении (1) может быть сгруппировано и разбито на подматрицы по узлам КЭ:

$$\begin{Bmatrix} P_A \\ P_B \end{Bmatrix} = \omega^2 \begin{bmatrix} M_{AA} & M_{AB} \\ m_{BA} & M_{BB} \end{bmatrix} \times \begin{Bmatrix} Z_A \\ Z_B \end{Bmatrix},$$

где M_{AA}, ..., M_{BB} — подматрицы порядка 6-й матрицы масс; $\{P_A\}$, $\{P_B\}$ и $\{Z_A\}$, $\{Z_B\}$ — векторы возмущающих сил и амплитудных значений перемещений.

Перемножим сгруппированные элементы матриц:

$$\begin{aligned} \{P_A\} &= \omega^2([M_{AA}]\{Z_A\} + [M_{AB}])\{Z_B\}; \\ \{P_B\} &= \omega^2([M_{BA}]\{Z_A\} + [M_{BB}])\{Z_B\}. \end{aligned} \quad (5)$$

Подставив в уравнения (2) выражения (5) и с учётом формул (3), получим

$$\begin{aligned} \{P_n\} &= \omega^2([H_n][M_{AA}][H_n]^T\{Z_n\} + \\ &+ [H_n][M_{AB}][H_n]^T\{Z_{2n}\}); \\ \{P_{2n}\} &= \omega^2([H_n][M_{BA}][H_n]^T\{Z_n\} + \\ &+ [H_n][M_{BB}][H_n]^T\{Z_{2n}\}). \end{aligned} \quad (6)$$

Отсюда следует матрица порядка $12n$ масс пространственного балочного КЭ с n узлами в каждом контуре сечения в начале и конце стержня:

$$[M_{n-n}] = \begin{bmatrix} H_n M_{AA} H_n^T & H_n M_{AB} H_n^T \\ H_n M_{BA} H_n^T & H_n M_{BB} H_n^T \end{bmatrix}.$$

На рис. 2 приведены конечно-элементные модели балочного КЭ $1 - A$ и $A - n + 1$ с принятой последовательностью нумерации узлов.

Матрицы порядка $6(n + 1)$ масс пространственного балочного КЭ с n узлами по контуру сечения в конце и начале стержня соответственно запишутся в виде

$$[M_{1-n}] = \begin{bmatrix} M_{11} & M_{A1} H_n^T \\ H_n M_{A1} & H_n M_{AA} H_n^T \end{bmatrix};$$

$$[M_{n-1}] = \begin{bmatrix} H_n M_{AA} H_n^T & H_n M_{A1} \\ M_{A1} H_n^T & M_{11} \end{bmatrix},$$

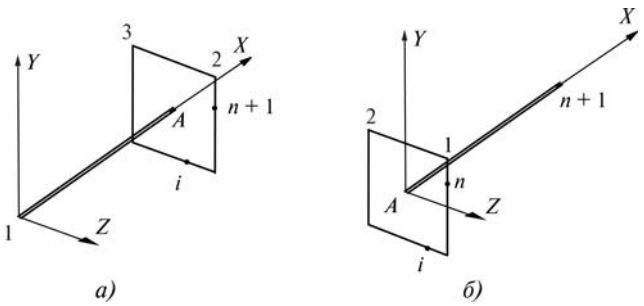


Рис. 2. Модели балочного конечного элемента с *n* узлами по контуру сечения:
а — в конце стержня; *б* — в начале стержня

где матрицы переноса сил КЭ вычисляются по формулам

$$[H_n] = \begin{bmatrix} h_2 \\ h_3 \\ \vdots \\ h_{n+1} \end{bmatrix}; [H_n] = \begin{bmatrix} h_2 \\ h_3 \\ \vdots \\ h_{n+1} \end{bmatrix}.$$

Для формирования матриц $[M_{n-n}]$, $[M_{1-n}]$ и $[M_{n-1}]$ масс в стандартной для конечно-элементной процедуры форме можно использовать вспомогательные *П* и *Г*-образные КЭ, рассмотренные в работе [2]. Сосредоточенные массы учитываются их суммированием с соответствующими элементами матрицы масс конструкции, расположенными на главной диагонали. Порядок приведённых матриц масс, матриц переноса узловых сил, совпадает с соответствующими матрицами при вычислениях матриц жёсткости балочных КЭ.

Решение задач динамики стержневой системы реализовано в программах [6, 7], которые предназначены для вычисления частот свободных колебаний и соответствующих собственных векторов (мод), а также амплитудных значений напряжённо-деформированного состояния при вынужденных колебаниях. Библиотека КЭ программ содержит: балочный КЭ, балочный КЭ с узлами по контурам сечений, треугольный и прямоугольный КЭ оболочки, как совокупность плоских элементов [5].

Расчёт стержневой системы может быть выполнен с распределённой массой КЭ и (или) с учётом сосредоточенных масс, а также с учётом произвольных шарниров в местной и (или) общей системе координат. Сосредоточенные массы учитывают их суммирования с соответствующими элементами матрицы масс конструкции, расположенными на главной диагонали. Учёт шарниров выполняется конденсацией (редуцированием) матриц жёсткости и масс КЭ [3].

Единицы измерений силы и длины могут быть выбраны расчётчиком и определяются соответствующими единицами измерений модуля упругости материала.

Общая характеристика программ. ЭВМ: IBM PC-совместимый ПК; Язык: Fortran; ОС: Windows; Объём: 21,0 Кб и 26,3 Кб исходного текста соответственно.

Согласно теории расчёта стержневых систем, основанной на гипотезах о недеформируемости контура поперечного сечения, деформации в узлах, расположенных на контуре, по направлению осей *Y*, *Z* местной системы координат *XYZ* стержневого КЭ отсутствуют, в отличие от теории расчёта оболочек.

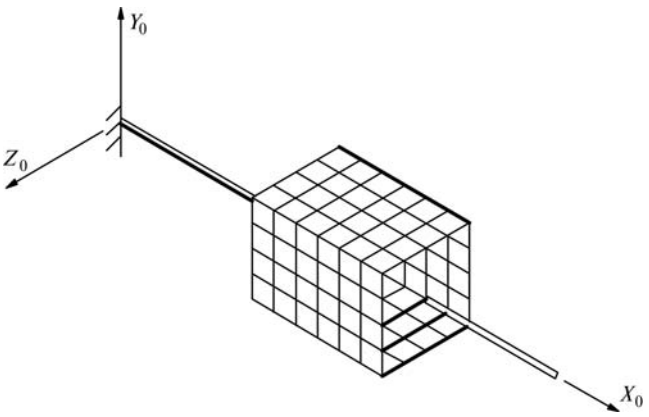


Рис. 3. Конечно-элементная модель балки

Чтобы выполнить условие совместности деформаций узлов граничного сечения со стороны КЭ оболочки, необходимо обеспечить недеформированность контура сечения увеличением его жёсткости.

На рис. 3 приведена конечно-элементная модель тестового примера консольной балки, образованная использованием КЭ оболочки и стержневых КЭ. У консоли балки длиной 120 см три равных по длине участка. Консоль изготовлена из профиля коробчатого квадратного сечения $100 \times 100 \times 6$ ($F = 24{,}34$ см^2; $J_z = 318{,}89$ см^4; $W_z = 63{,}78$ см^3).

Выполнены сравнительные расчёты консоли на свободные и вынужденные колебания с распределённой массой моделированием только балочных КЭ и комбинацией балочных КЭ и прямоугольных КЭ оболочки. В модели используются балочные КЭ с узлами по контуру сечения, моделирующие 2 участка консоли до граничных сечений, и 96 прямоугольных КЭ оболочки, моделирующие её среднюю часть. Оси балочных КЭ проходят через центры тяжести поперечных сечений. У каждого балочного КЭ по 16 узлов на контуре сечения. Вынужденные колебания выполнялись от действия возмущающей силы 100 Н с частотой $\omega = 0{,}8\varphi_{\min} = 3{,}53$ с$^{-1}$, приложенной на свободном конце консоли. Основные результаты расчётов представлены в таблице, где приведён прогиб свободного конца консоли и нормальные напряжения в её заделке при вынужденных колебаниях.

Расчёты показали близость значений результатов напряжённого и деформированного состояний консольной балки при различных вариантах её моделирования.

Сравнение численных результатов

Конечные элементы	Низшая частота, c^{-1}	Мода на свободном конце	Прогиб, см	Напряжения, МПа
Балочные КЭ	4,42	6,04	–24,49	56,52
Комбинация КЭ	4,50	5,92	–24,01	55,35
Погрешность, %	1,81	1,99	1,96	2,07

Комбинация плоских и стержневых элементов в конечно-элементной модели стержневых систем, образованных из стержней коробчатого сечения, позволяет полнее учитывать особенности соединений стержней, отражает стержневой характер конструкции и значительно уменьшает количество исходной информации при расчёте стержневой системы с использованием в её модели только КЭ оболочки. Предлагаемый подход к моделированию коробчатого сечения стержней выполнен в стандартной конечно-элементной постановке, что позволяет строить эффективные вычислительные алгоритмы.

Следует отметить, что в плоской стержневой системе в полной мере можно использовать трубы стальные прямоугольные ГОСТ 8645—68. В пространственной стержневой системе стержни работают на изгиб и кручение. В связи с чем, в приведённых сортаментах квадратных и прямоугольных труб даны допустимые углы закручивания (скручивание стержней на 1 м длины стержня) для различных способов изготовления профилей.

Библиографические ссылки

1. **Ливсли Р.** Матричные методы строительной механики / Пер. с англ. под ред. А.М. Проценко. М.: Стройиздат, 1980. 222 с.

2. **Чернов С.А.** Конечный элемент стержня коробчатого сечения с узлами по контуру сечения // Автоматизация и современные технологии. 2014. № 2. С. 9—12.

3. **Зенкевич О.** Метод конечных элементов в технике / Пер. с англ. под ред. Б.Е. Победри. М.: Мир, 1975. 541 с.

4. **Постнов В.А., Дмитриев С.А., Елтышев Б.К., Родионов А.А.** Метод суперэлементов в расчётах инженерных сооружений. Л.: Судостроение, 1979. 287 с.

5. **Мяченков В.И., Мальцев В.П., Майборода В.П**. и др. Расчёты машиностроительных конструкций методом конечных элементов. Справочник. М.: Машиностроение, 1989. 520 с.

6. **Свидетельство** об официальной регистрации программы для ЭВМ № 2013661171. Свободные колебания произвольной пространственной стержневой системы / Чернов С.А., Чёрный А.Н.; заявитель и правообладатель Ульян. гос. техн. ун-т. № 2013619070; заявл. 10.10.2013; зарегистр. в Реестре программ для ЭВМ 29.11.2013. М.: Роспатент, 2013.

7. **Свидетельство** об официальной регистрации программы для ЭВМ № 2013661174. Вынужденные колебания произвольной пространственной стержневой системы / Чернов С.А., Чёрный А.Н.; заявитель и правообладатель Ульян. гос. техн. ун-т. № 2013619079; заявл. 10.10.2013; зарегистр. в Реестре программ для ЭВМ 29.11.2013. М.: Роспатент, 2013.

УДК 004.312.222

В.С. Коржев
(Пермский национальный исследовательский политехнический университет)
veter44k@gmail.com

АНАЛИЗ МЕТОДОВ И СРЕДСТВ КОНТРОЛЯ ЛОГИЧЕСКИХ ЭЛЕМЕНТОВ И КОМБИНАЦИОННЫХ ЦИФРОВЫХ СХЕМ

Приведён анализ методов и средств контроля логических элементов, а также комбинационных цифровых схем. Рассмотрены методы тестового и функционального диагностирования, проведён патентный анализ и представлены современные методы контроля.

Ключевые слова: контроль, тестовое и функциональное диагностирование, объект диагностирования, проверяющий тест, сигнатурный анализ, неисправность, периферийное сканирование.

Methods and control devices analysis of logical elements and combinational digital schemes is adduced. Test and functional diagnosing methods are considered, the patent analysis is carried out and modern control methods are presented.

Key words: control, test and functional diagnosing, the object of diagnosis, checking test, the signature analysis, malfunction, peripheral scanning

Рис. 1. Тестовое диагностирование

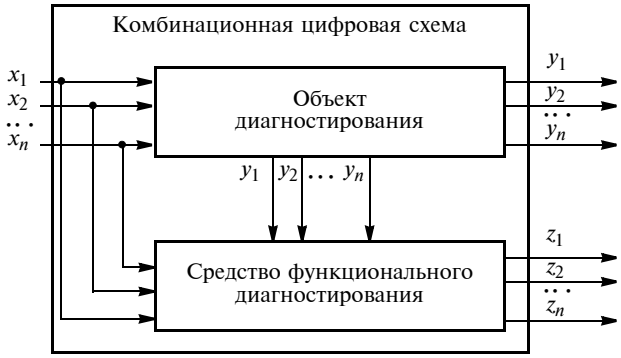


Рис. 2. Функциональное диагностирование

Методы диагностирования объектов разрабатываются для непрерывных и дискретных систем [1]. Существует два вида диагностирования: тестовое и функциональное.

При тестовом диагностировании (рис. 1) на вход объекта диагностирования поступают значения с заранее определёнными параметрами $x_1, x_2, ..., x_n$ от средства диагностирования, а уже затем по полученным выходным функциям $y_1, y_2, ..., y_n$ делаются выводы об исправности объекта $z_1, z_2, ..., z_n$.

При функциональном диагностировании (рис. 2) на объект и средство диагностирования поступают рабочие воздействия $x_1, x_2, ..., x_n$, по результатам которых $y_1, y_2, ..., y_n$ определяется правильность функционирования объекта $z_1, z_2, ..., z_n$.

Методы контроля логических элементов и комбинационных цифровых схем. Тестовое диагностирование сводится к реализации методов построения тестов, основными из которых являются: метод таблицы функций неисправности и существенных путей, *D*-алгоритм, метод эквивалентной нормальной формы, булево дифференцирование, метод на основе метрических свойств схем [2] и др.

Метод таблицы функций неисправностей (ТФН) позволяет построить проверяющий и диагностический тесты. Метод основан на построении графа эквивалентных неисправностей и нахождении импликации между неисправностями или неисправностями и функцией, реализованной комбинационной схемой. Недостаток ТФН заключается в том, что она описывает комбинационную цифровую схему целиком, что приводит к громоздкости при увеличении числа компонентов.

Метод существующих путей, напротив, анализирует схему по частям. Логическая схема задается структурно, а для её описания используются сжатые таблицы истинности и таблицы трансляции ошибок, объединение которых называют таблицами *D*-кубов. Для определения проверяющего теста необходимо и достаточно выполнения двух условий:

данная неисправность должна проявиться на линии *i*, на входящем наборе в исправной схеме должен присутствовать сигнал 1 или 0 при неисправности константы 0 и 1 соответственно;

выходной сигнал на исправной схеме должен отличаться от выходного сигнала на неисправной схеме, данная неисправность должна быть активирована.

Недостаток данного метода заключается в том, что необходимо перебирать варианты согласно условиям при поиске проверяющих наборов.

D-алгоритм позволяет находить проверяющий тест без анализа роботы на выходе комбинационной цифровой схемы при помощи таблицы *D*-кубов неисправностей, операциям *D*-продвижения, на котором рассматриваются все возможные пути активации неисправности до выхода схемы, и обратного доопределения, позволяющего по известному сигналу на выходе элемента определить сигналы на входах элемента. Одним из преимуществ *D*-алгоритма является нахождение хотя бы одного варианта набора, если он существует.

Метод эквивалентной нормальной формы (ЭНФ) позволяет построить нормальную форму булевой функции по заданной комбинационной цифровой схеме. Затем каждая неисправность проецируется на ЭНФ при помощи фиксации её операндов в 0 или 1, в зависимости от чётности инверсий от места неисправности до выхода схемы, а по полученным функциям неисправности определяются проверяющий и диагностический тест.

Одним из самых удобных методов является применение аппарата *булевого дифференцирования*. Для этого, как и в методе ЭНФ, находится дизъюнктивная нормальная форма, которая дифференцируется по входной переменной.

Организация функционального диагностирования (рис. 3) сводится к построению дополнительного блока и компаратора и реализуется методами: дублирования, паритета, контроля по коду с постоянным весом, контроля по коду с суммированием [3], логического дополнения [4], контроля на основе свойств самодвойственной функции [5], контроля на основе кода Хеминга [6] и др.

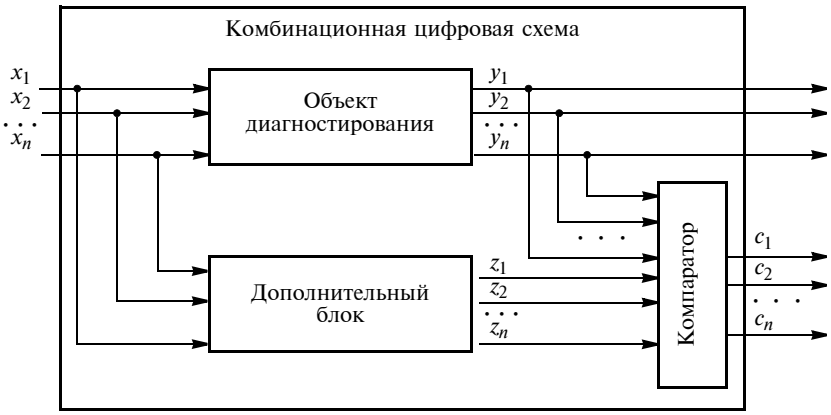


Рис. 3. Организация функционального диагностирования

Дублирование комбинационной цифровой схемы часто используется на практике. Дополнительный блок полностью идентичен основной схеме, а компаратор реализует функцию, которая сравнивает сигналы на одинаковых выходах. Достоинством данного метода является то, что он обнаруживает все возможные неисправности, а недостатком — сложность комбинационно-логической схемы увеличивается в разы.

Также часто используется на практике *метод паритета*, основанный на использовании кода с контролем на чётность. Компаратор вычисляет бит приоритета, а дополнительный блок реализует функцию:

$$z(x) = y(x_1) \oplus y(x_2) \oplus \ldots \oplus y(x_n).$$

Данный метод обнаруживает все неисправности, которые приводят к нарушению чётности единиц, но по сравнению с методом дублирования не так сильно увеличивает сложность схемы.

Код с постоянным весом образует векторы с постоянным количеством единиц на выходном сигнале. Дополнительный блок вычисляет функции $z_1, z_2, \ldots, z_n$ с таким расчётом, чтобы на выходе из компаратора образовались векторы с постоянным количеством единиц. Компаратор строится на основе самопроверяемого тестера и реализует функцию:

$$y^w(x_1, x_2, \ldots, x_p) = \bigcup_{i_1, i_2 \ldots i_w \in \{1, 2 \ldots p\}} x_{i1} x_{i2} \ldots x_{iw},$$

где w — количество единиц в векторе; p — количество разрядов в векторе.

В коде обнаруживаются все одиночные неисправности, либо $0 \to 1$, либо $1 \to 0$, так как они изменяют число единиц в кодовом векторе, но не распознаются кратные ошибки.

В отличие от кода с постоянным весом *контроль по коду с суммированием* обнаруживает и кратные ошибки, но только с одним исключением, если они равнонаправленные. Дополнительный блок вычисляет функции $z_1, z_2, \ldots, z_n$ с таким расчётом, чтобы при подаче на вход схемы любого набора $x_1, x_2, \ldots, x_n$ формировался контрольный вектор, который образуется из вспомогательного вектора заменой в нём единичных разрядов на нулевые и наоборот. Отмечено, что вспомогательное слово формируется подсчётом единичных разрядов и представления их в двоичном виде.

Метод логического дополнения направлен на уменьшение сложности реализации диагностирующей системы. В отличие от перечисленных методов он не привязан к значениям выходных сигналов комбинационной цифровой схемы и позволяет выбрать любой вариант реализации дополнительного блока и компаратора.

Контроль на основе свойств самодвойственной функции является одним из лучших методов диагностирования комбинационных логических схем. Одним из достоинств является то, что любую схему можно привести к самодвойственному виду, а затем осуществить обратные преобразования. Если в схеме возникает неисправность, то на его выходе будет реализовываться ошибочная функция, не принадлежащая к классу самодвойственных.

Средства контроля логических элементов и комбинационных цифровых схем. Для реализации технической диагностики комбинационно-логических схем запатентовано ряд методов и устройств. В Тбилисском научно-исследовательском институте приборостроения и средств автоматизации изобретён логический анализатор для поиска неисправностей в аппаратных средствах электронно-цифрового оборудования. Цель данного устройства — расширение функциональных возможностей ранее запатентованного во Франции устройства для проверки блоков данных за счёт обнаружения ошибочных временных диаграмм логических схем. Работа устройства

основывается на принципе сжатия информации с применением сдвигающих регистров с обратными связями. Такой принцип позволяет со стопроцентной вероятностью утверждать: является ли временная диаграмма ошибочной, если заранее известна предполагаемая временная диаграмма и её остаточный код.

Недостаток указанного выше изобретения — неспособность информировать о месте неисправности. Поэтому был предложен сигнатурный анализатор для контроля и диагностирования логических блоков, в которых неисправность в одной ячейки памяти проявлялась только на одном блоке выходной последовательности. Работа анализатора основана на свёртке анализируемой двоичной последовательности с помощью формирователя сигнатур, на сравнении её с эталонной сигнатурой, получении синдрома ошибки, анализе синдрома ошибки, однозначной идентификации места ошибки в анализируемой последовательности, а также индикации места ошибки на индикаторе. Таким образом, использование предложенного сигнатурного анализатора позволяло осуществлять не только режим контроля выходных последовательностей, но и при наличии одиночной ошибки режим диагностики с автоматическим указанием местоположения ошибки в виде порядкового номера искажённого символа.

В Донецком политехническом институте был предложен упрощённый вариант сигнатурного анализатора, содержащий (рис. 4) формирователь сигнатур *1*, блок хранения эталонных сигнатур *2*, первый *3* и второй *4* счётчики, блок индикации *5*, элемент И-НЕ *7*, первый *8* и второй *9* элементы И, синхровход *10*, информационный вход *11*, вход сброса *12*, вход "ПУСК" *13*, входы начальной установки *14-0*, ..., *14-K*, и отличающийся лишь введением элемента И-НЕ *6*. Затем был предложен сигнатурный анализатор для контроля и диагностики логических блоков с повышенной достоверностью контроля [7]. Для этого дополнительно введён второй формирователь сигнатур, второй блок хранения эталонных сигнатур и второй элемент ИЛИ.

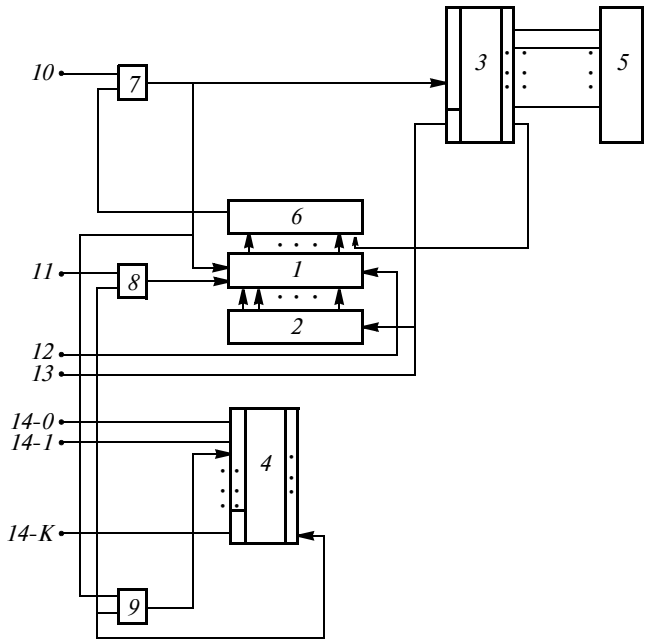


Рис. 4. Упрощённый вариант сигнатурного анализатора

Рассмотрим многоканальный сигнатурный анализатор [8] с повышенным быстродействием за счёт возможности выделения из сигнатур дополнительной диагностической информации о кратности ошибок в многоканальных двоичных последовательностях. Анализатор обеспечивал контроль двоичных последовательностей одновременно по нескольким каналам и представлял информацию о наличии в анализируемой последовательности векторов одного ошибочного вектора или ошибочных векторов большей кратности. При наличии одного ошибочного вектора анализатор автоматически указывал его местоположение. Анализатор содержит (рис. 5) формирователь сигнатур (ФС) *1*, *2*, *3*, блоки памяти эталонных сигнатур (БЭС) *4*, *5*, *6*, блоки сравнения (БС) *7*, *8*, счётчики (СТ) *9*, *10*, триггеры (Т) *11*, *12*, одновибратор *13*, индикатор *14*, элемент ИЛИ *15*, индикатор *16*, элементы И *17*, *18*, *19*, группу элементов И (ГРИ) *20*, элемент задержки *21*, группу входов начальной установки *22*, тактовый вход *23*, группу информационных входов *24*, вход сброса *25*, вход "ПУСК" *26*. В 1993 г. данное устройство было усовершенствованно [9]. Анализатор позволял локализовать ряд ошибок в анализируемой последовательности, что повышало достоверность контроля. Для этого он дополнительно содержал регистр сдвига, четвёртый элемент И и элемент И-НЕ.

Одним из значимых является устройство для контроля схем цифровых вычислительных машин. Работа устройства основана на использовании традиционных способов контроля функционирования и измерения электрических параметров формированием программой последовательности стимулирующих воздействий и анализом каждого отклика на каждом выходе контролируемого логического элемента. Однако такой подход к решению проблемы контроля логических элементов требует использование запоми-

нающих устройств большой ёмкости для хранения программ стимуляции и реакций выходов или размещения этих данных на бумажных носителях, что делает устройства ненадёжными, дорогостоящими и плохо приспосабливаемыми для контроля новых логических элементов. Для устранения этих недостатков предложено устройство для функционально-параметрического контроля логических элементов, ранее запатентованное в США, но с повышенной достоверностью результатов контроля и увеличенным быстродействием устройства (рис. 6). Поставленное условие достигается тем, что в известное устройство, содержащее сигнатурный анализатор *7* и последовательно соединённый тактовый генератор *1*, первый счётчик *3* и коммутатор-преобразователь *8*, введены мультиплексор *5*, второй счётчик *6* и дешифратор *4* для функционального контроля логического элемента *2*.

Недостатком данного устройства является низкое быстродействие, обусловленное тем, что в нём не ограничивается количество циклов контроля и следующий цикл контроля начинается через время, равное длительности цикла после окончания предыдущего. Количество циклов контроля обуславливается компромиссом между требованиями обеспечения достаточного быстродействия устройства и требованиями обеспечения высокой надёжности контроля. Для устранения данного недостатка предложено устройство с большим быстродействием. Для этого в известную модель введены дополнительно счётчик, формирователь и элемент "ИЛИ", обеспечивающие переход к следующему циклу контроля сразу после окончания обработки сигнатуры в данном цикле. К недостаткам устройства можно отнести и частые проявления ложных комбинаций сигналов на входах дешифратора при распознавании многократных переходов из 0 в 1 и наоборот. Поэтому необходимо отметить дискриминатор логических сигналов, позволяющий выявить данные комбинации и увеличить достоверность

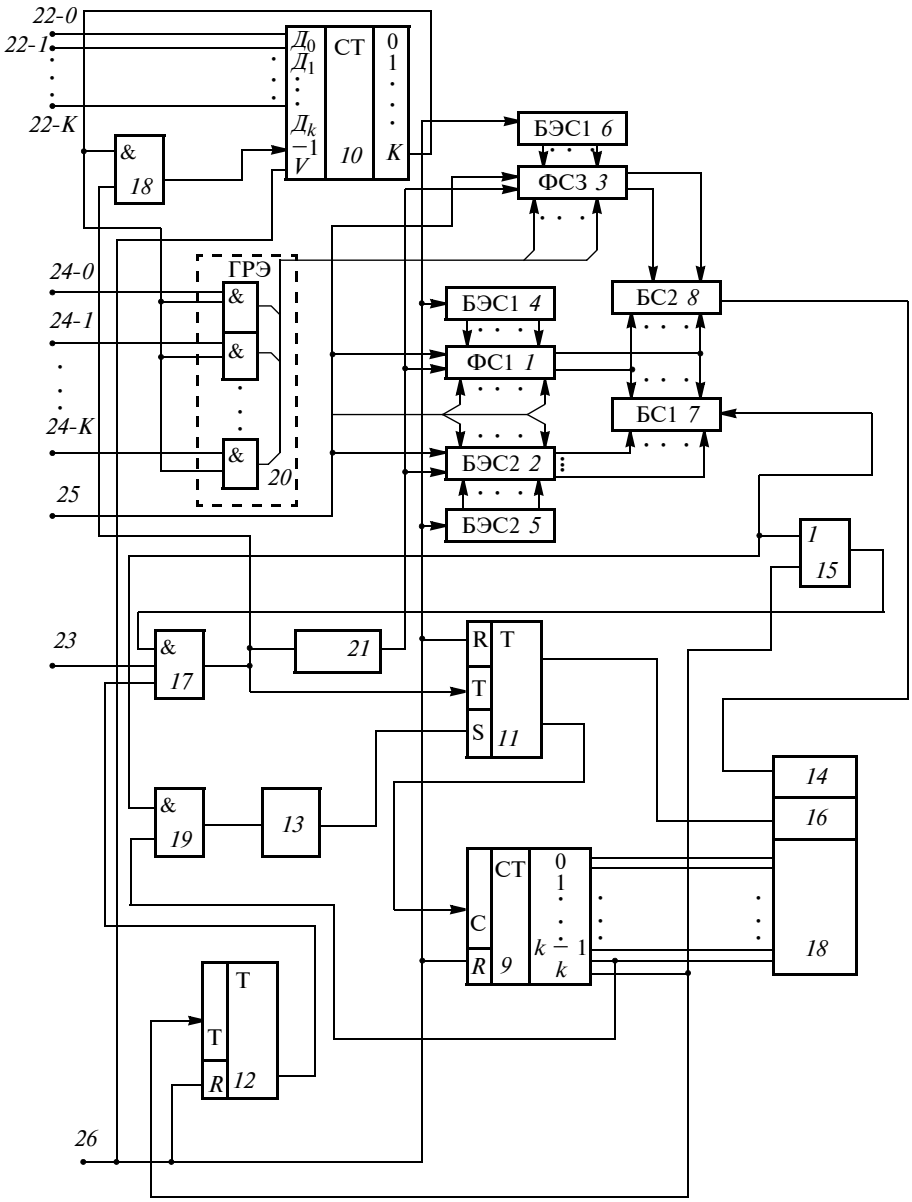


Рис. 5. Многоканальный сигнатурный анализатор

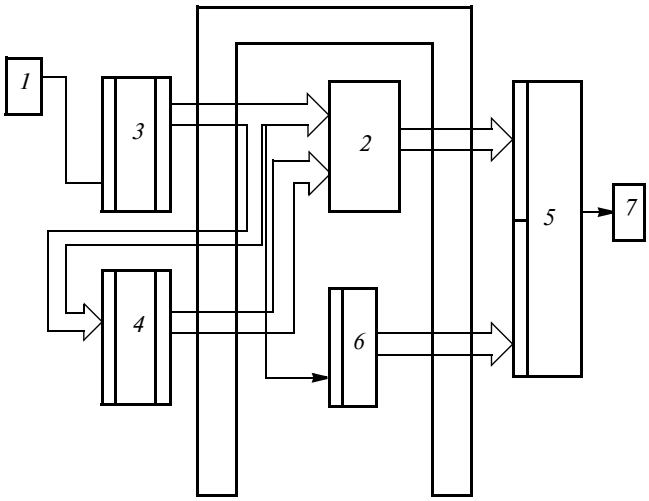


Рис. 6. Устройство для функционально-параметрического контроля логических элементов

функционирования, как и самого устройства контроля, так и контролируемой дискретной системы в целом. В работе описано запатентованное устройство для контроля логических блоков, основанное на методе сигнатурного анализа, но с повышением достоверности и точности контроля при расширении функциональных возможностей и увеличении быстродействия. Позднее предложена модель сигнатурного анализатора с расширенной областью применения за счёт обработки дискретной информации с числом уровней более трёх.

Современные методы контроля. В последнее время ведущие компании-производители для проверки функционирования программируемых логических интегральных схем (ПЛИС) используют метод периферийного сканирования [10]. Результатом периферийного сканирования является информация о наличии в ПЛИС типичных неисправностей. Для тестирования используют тестовый последовательный интерфейс типа JTAG, названный по сокращённому названию группы ведущих производителей электронных компонентов (Joint Test Action Group), которая была создана для решения проблем тестирования сложных электронных устройств. Выработанная архитектура последовательного тестового интерфейса принята как промышленный стандарт IEEE Std. 1149.1 — 1990 (IEEE Standard Test Access Port and Boundary-Scan Architecture). Данная архитектура называется ещё по наименованию стандарта "Архитектура граничного сканирования" (BSC) (рис. 7), которая располагается между блоками ввода/вывода и внутренней логикой микросхемы. В обычном состоянии BSC не влияет на работу устройства, и сигналы свободно проходят с входа NDI и внутренней логики

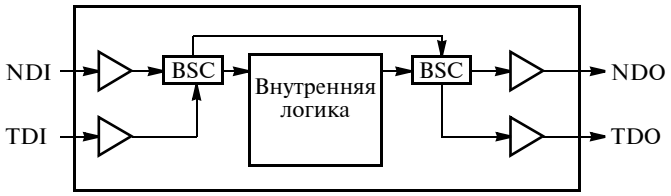


Рис. 7. Интеграция архитектуры BSC

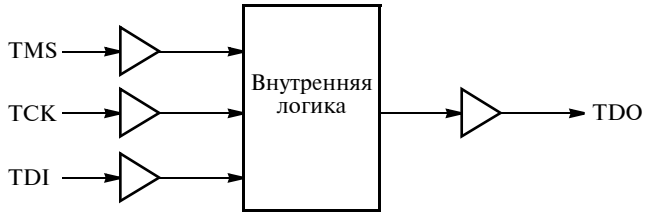


Рис. 8. Соединение устройств интерфейсом JTAG

устройства на выход NDO. В режиме тестирования последовательно включённые BSC позволяют задавать на своих выходах тестовые воздействия при помощи подаваемых на вход TDI сигналов и снимать с входов BSC отклик, выводимый на выход TDO.

Каждое совместимое со стандартом устройство имеет 4 вывода (рис. 8):

TDI (test data input — "вход тестовых данных") — вход последовательных данных периферийного сканирования;

TDO (test data output — "выход тестовых данных") — выход последовательных данных;

TMS (test mode select — "выбор режима тестирования") обеспечивает переход схемы в/из режима тестирования и переключение между разными режимами тестирования;

TCK (test clock — "тестовое тактирование") тактирует работу встроенного автомата управления периферийным сканированием.

Внутри устройства предусматривается специальный контроллер, состоящий из блока управления, называемого портом тестового доступа TAP (Test Access Port) и целого набора сдвиговых регистров: регистра команд, тестового регистра, регистра пропуска и возможных пользовательских регистров.

Периферийное сканирование позволяет проверять работу самих микросхем, монтажные межсоединения микросхем, считывать сигналы на выводах микросхемы во время её работы или управлять этими сигналами, а также с помощью расширения возможностей интерфейса JTAG можно проводить реконфигурацию микросхем непосредственно в системе, без извлечения её из устройства.

Таким образом, проанализировав существующие методы и средства контроля, можно сделать вывод, что контроль функционирования логических элементов в комбинационных цифровых схемах с помощью логического анализатора на ранних этапах развития не достаточно совершенен, так как требует высокой квалификации персонала. Для каждой конкретной неисправности приходится заново разрабатывать процедуру испытаний, настраивать прибор на новый режим работы, который, по мнению оператора, позволит обнаружить и локализовать неисправность. Позднее большее распространение получили принципы сигнатурного анализа, которые, не требуя высокой квалификации персонала, позволяют быстро и точно отыскивать вышедший из строя компонент комбинационной

цифровой схемы, но и они в настоящее время постепенно утрачивают свои позиции под натиском современных систем контроля.

Библиографические ссылки

1. **Авдуевский В.С.** Надёжность и эффективность в технике. Т. 01. Методология. Организация. Терминология. М.: Машиностроение, 1986. 220 с.
2. **Латыпов Р.Х.** Тестовое диагностирование на основе метрических свойств схем // Автоматика и телемеханика. 1991. № 2. С. 171—178.
3. **Мехов В.Б., Сапожников В.В., Сапожников Вл.В.** Контроль комбинационных схем на основе модифицированных кодов с суммированием // Автоматика и телемеханика. 2008. № 8. С. 153—165.
4. **Гессель М., Морозов А.В., Сапожников В.В., Сапожников Вл.В.** Контроль комбинационных схем методом логического дополнения // Автоматика и телемеханика. 2005. № 8. С. 161—173.
5. **Гессель М., Сапожников В.В., Сапожников Вл.В.** Обнаружение неисправностей в комбинационных схемах с помощью самодвойственного контроля // Автоматика и телемеханика. 2000. № 7. С. 140—149.
6. **Ефанов Д.В., Блюдов А.А.** Коды Хэмминга и их обнаруживающие способности в схемах функционального контроля // Надёжность и техническая диагностика. 2012. № 2. С. 100—111.
7. **Тарасенко А.Н., Дяченко О.Н.** Сигнатурный анализатор. А.С. СССР № 1737452, кл. G 06 F 11/00, 1991.
8. **Дяченко О.Н., Журавель А.П.** Многоканальный сигнатурный анализатор. А. С. СССР № 1797118, кл. G 06 F 11/00, 1991.
9. **Дяченко О.Н.** Многоканальный сигнатурный анализатор. А.С. СССР № 1837291, кл. G 06 F 11/00, 1993.
10. **Мальцев П.П., Гарбузов Н.И., Шарапов А.П., Кнышев Д.А.** Программируемые логические ИМС на КМОП-структурах и их применение. 1998. М.: Энергоатомиздат, 159 с.

УДК 621.396

П.А. Кучеренко, канд. тех. наук, **С.В. Соколов,** д-р техн. наук, проф.
(Ростовский государственный университет путей сообщения, г. Ростов-на-Дону)
pavelpost83@mail.ru

НЕЛИНЕЙНАЯ СТОХАСТИЧЕСКАЯ ИДЕНТИФИКАЦИЯ ДИСКРЕТНЫХ МНОГОСТРУКТУРНЫХ ДИНАМИЧЕСКИХ ОБЪЕКТОВ НА ОСНОВЕ АЛГОРИТМОВ ОПТИМАЛЬНОГО ОЦЕНИВАНИЯ

Показана актуальность исследования методов структурной стохастической идентификации нелинейных дискретных многоструктурных динамических объектов. Предложена общая структура алгоритма структурной идентификации на основе методов оптимального оценивания вектора состояния объекта. Рассмотрены синтез алгоритма идентификации с использованием критерия минимума автокорреляционной функции невязки и численный пример, иллюстрирующий эффективность предлагаемого подхода.

Ключевые слова: цифровая обработка сигналов, структурная идентификация, стохастический дискретный многоструктурный объект, алгоритмы оптимального оценивания, нелинейный фильтр Калмана.

The research actuality of structural stochastic identification methods of nonlinear discrete multistructural dynamic objects is shown. The algorithm general structure of structural identification on the basis of optimum estimation methods of a object condition vector is proposed. Identification algorithm synthesis with use of a minimum criterion of misalignment self-correlated function and the numerical example illustrating of offered approach efficiency are considered.

Key words: digital processing of signals, structural identification, stochastic discrete multistructural object, optimum estimation algorithms, Kallman's nonlinear filter

Введение. В настоящее время в различных областях практической деятельности человека используются системы распознавания структур объектов и сигналов различной физической природы, в общем случае стохастических, что обуславливает наблюдаемый рост количества исследований, направленных на решение задач, возникающих при разработке эффективных методов и алгоритмов структурного распознавания (идентификации) в условиях стохастической не-

определённости [1—4]. Предложены различные варианты решения задачи стохастической структурной идентификации, в основном, для непрерывных систем [4—7], в то время как в исследованиях, ориентированных на дискретные многоструктурные объекты, основное внимание уделяется лишь разработке алгоритмов оценивания элементов вектора переменных состояния многоструктурного объекта [8—10] и практически без внимания остается проблема эффективной идентификации его структуры. Также отметим, что появляющиеся в последнее время решения с использованием дискретной калмановской фильтрации ограничиваются, как правило, рассмотрением линейных моделей объектов и их измерителей [11]. Это резко сужает области применения подобных подходов для реальных процессов и систем, обладающих существенно нелинейной динамикой.

В связи с изложенным выше, проведение исследований, направленных на синтез методов и алгоритмов, позволяющих решить задачу идентификации структур дискретных нелинейных объектов на основе теории помехоустойчивого оптимального оценивания, представляется весьма актуальным как с практической, так и с теоретической точек зрения.

Постановка задачи идентификации. Пусть дискретный объект со случайной сменой структур задан в общем случае нелинейным разностным уравнением

$$\mathbf{x}_k = \mathbf{f}^{(l)}(\mathbf{x}_{k-1}, \mathbf{n}_k^{(l)}),\ l = \overline{1, L}, \qquad (1)$$

где k — текущий такт времени; l — номер структуры объекта; L — общее количество возможных структур объекта; $\mathbf{x}_k$ — N-мерный вектор состояния объекта в k-й момент времени; $\mathbf{n}_k^{(l)}$ — N-мерный вектор шума объекта для структуры l; $\mathbf{f}^{(l)}(...)$ — соответствующая структуре l известная нелинейная вектор-функция.

Вектор наблюдения для k-го момента времени $\mathbf{z}_k$ размерности M описывается следующим уравнением наблюдения (в общем случае также нелинейным):

$$\mathbf{z}_k = \mathbf{h}(\mathbf{x}_k, \mathbf{w}_k), \qquad (2)$$

где $\mathbf{h}(...)$ — известная нелинейная вектор-функция наблюдения; $\mathbf{w}_k$ — M-мерный вектор шума наблюдения.

Номер структуры объекта l изменяется в произвольные моменты времени жизненного цикла объекта (1), т. е. процесс смены структуры предполагается дискретным во времени случайным процессом с полностью неизвестными вероятностными характеристиками.

Таким образом, в рассматриваемом общем нелинейном стохастическом случае задача идентификации структуры многоструктурного объекта (1) может быть сформулирована как задача максимально точного и оперативного определения текущего номера структуры объекта l на основе наблюдаемых измерителем (2) дискретных отсчётов сигнала наблюдения.

Общая структура алгоритма идентификации. С учётом отмеченного выше роста количества разработок эффективных алгоритмов формирования оценок состояния стохастических объектов, а также принимая во внимание очевидную способность этих оценок адекватно отражать закономерности функционирования соответствующего динамического объекта, представляется целесообразным построение алгоритма структурной идентификации на основе использования набора (банка) формирователей оценок (ФО), соответствующих различным структурам ("настроенных" на каждую из L возможных структур), с последующей интерпретацией выходных сигналов в пользу той или иной структуры. Очевидно, что только одна из L оценок будет соответствовать измеренному сигналу и, следовательно, только для неё будут выполнены условия оптимума некоторого критерия оптимальности J, выбираемого, исходя из физического смысла решаемой задачи и особенностей исследуемых объектов. Более детально использование одного из возможных вариантов критерия J будет рассмотрено ниже при дальнейшей конкретизации предлагаемого подхода к решению задачи структурной идентификации.

На рис. 1 приведён общий вид структурной схемы предлагаемого алгоритма структурной

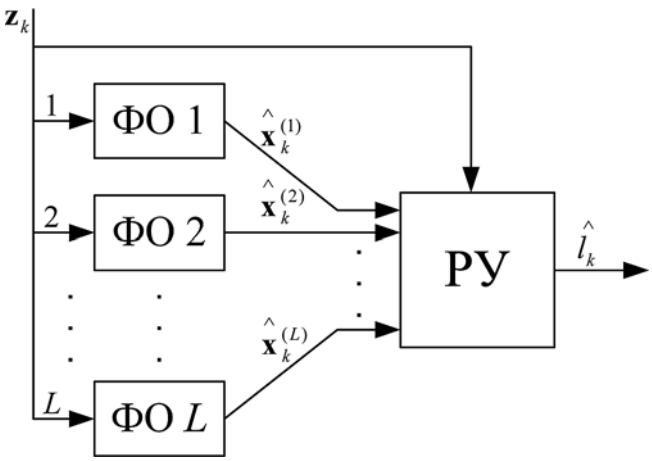


Рис. 1. Схема алгоритма структурной идентификации

идентификации со следующими условными обозначениями: ФО l, $l=\overline{1, L}$ — формирователь вектора оценок текущего состояния многоструктурного объекта $\hat{\mathbf{x}}_k^{(l)}$, соответствующего l-й структуре; РУ — решающее устройство, формирующее на выходе текущее значение оценки номера структуры объекта $\hat{l}_k$.

В качестве возможных методов формирования оценок $\hat{\mathbf{x}}_k^{(l)}$, $l=\overline{1, L}$ на выходах ФО могут быть использованы известные алгоритмы нелинейной фильтрации (нелинейный фильтр Калмана, фильтры на основе метода статистических испытаний [9, 10], алгоритмы оценивания по критерию максимума апостериорной плотности вероятности [12] и др.), выбор которых, в конечном итоге, определяется характерными особенностями исследуемого стохастического объекта и его наблюдателя.

Также следует отметить, что для повышения точности процедуры идентификации определение текущих оценок номера структуры объекта в РУ целесообразно проводить не на основе единичного ансамбля сформированных на очередном шаге алгоритма оценок $\hat{\mathbf{x}}_k^{(l)}$, $l=\overline{1, L}$, а с использованием некоторого интегрального показателя — сразу для некоторой совокупности ансамблей оценок, определённых на выбранном временном интервале работы алгоритма. Например, используя для этого свойства взаимной корреляции оценок переменных состояния и наблюдаемого сигнала или автокорреляционные особенности вычисляемых для различных структур значений невязок и т. д. Использование последних подробно рассмотрено ниже при синтезе конкретного варианта алгоритма идентификации.

Таким образом, условие оптимизации критерия идентификации структуры объекта на основе сформированных на выходах различных ФО ансамблей оценок его переменных состояния можно записать в виде

$$\min_l J = \min_l Q^{(l)}(\hat{\mathbf{x}}_{k-N_S+1}^{(l)}, \hat{\mathbf{x}}_{k-N_S+2}^{(l)}, ..., \hat{\mathbf{x}}_k^{(l)}),$$

где $Q^{(l)}$ — выбранная критериальная функция, в общем случае определяемая для каждой из возможных структур объекта; N_S — выбранный интервал работы алгоритма идентификации.

Рассмотрим один из вариантов алгоритма структурной идентификации, синтезированного в соответствии с предложенной схемой (см. рис. 1) и позволяющего обеспечить устойчивое высокоточное, и в то же время оперативное, решение задачи идентификации структур нелинейного стохастического объекта.

Синтез алгоритма структурной идентификации на основе критерия минимума автокорреляционной функции невязки. Формирование алгоритма структурной идентификации рассмотрим для характерного для практики частного случая многоструктурного объекта (1) и его наблюдателя (2), предположив возмущающие воздействия $\mathbf{n}_k^{(l)}$, $l=\overline{1, L}$ и $\mathbf{w}_k$ векторными центрированными гауссовскими случайными последовательностями с независимыми элементами и известными ковариационными матрицами $\mathbf{Q}^{(l)}$, $l=\overline{1, L}$, и $\mathbf{R}$ соответственно, а также их аддитивное вхождение в уравнения (1) и (2).

В этом случае уравнения объекта и его наблюдателя будут иметь следующий вид:

$$\mathbf{x}_k = \mathbf{f}^{(l)}(\mathbf{x}_{k-1}) + \mathbf{n}_k^{(l)}, \; l=\overline{1, L}, \tag{3}$$

$$\mathbf{z}_k = \mathbf{h}(\mathbf{x}_k) + \mathbf{w}_k. \tag{4}$$

В качестве формирователей оценок состояния идентифицируемого объекта используем наиболее применяемый алгоритм нелинейной фильтрации — алгоритм нелинейного дискретного фильтра Калмана (НФК), обладающий достаточной вычислительной эффективностью и удобной программной реализацией.

Уравнения НФК, определяющие алгоритм формирования оценок переменных состояния для различных структур рассматриваемого объекта (3) и его наблюдателя (4), можно записать в виде [13]:

$$\hat{\mathbf{x}}_k^{(l)} = \mathbf{f}^{(l)}(\hat{\mathbf{x}}_{k-1}^{(l)}) + \mathbf{K}_k^{(l)}(\mathbf{z}_k - \mathbf{h}(\hat{\mathbf{x}}_{k-1}^{(l)})), \; l=\overline{1, L}, \tag{5}$$

$$\mathbf{K}_k^{(l)} = \mathbf{P}_{k|k-1}^{(l)} \mathbf{H}_k^{(l)T} \mathbf{S}_k^{(l)-1};$$

$$\mathbf{P}_{k|k-1}^{(l)} = \mathbf{F}_{k-1}^{(l)} \mathbf{P}_{k-1}^{(l)} \mathbf{F}_k^{(l)T} + \mathbf{Q}^{(l)};$$

$$\mathbf{S}_k^{(l)} = \mathbf{H}_k^{(l)} \mathbf{P}_{k|k-1}^{(l)} \mathbf{H}_k^{(l)T} + \mathbf{R};$$

$$\mathbf{P}_k^{(l)} = (\mathbf{I} - \mathbf{K}_k^{(l)} \mathbf{H}_k^{(l)}) \mathbf{P}_{k|k-1}^{(l)};$$

$$\mathbf{F}_{k-1}^{(l)} = \left.\frac{d\mathbf{f}^{(l)}}{d\mathbf{x}}\right|_{\hat{\mathbf{x}}_{k-1}^{(l)}}; \; \mathbf{H}_k^{(l)} = \left.\frac{d\mathbf{h}}{d\mathbf{x}}\right|_{\hat{\mathbf{x}}_{k-1}^{(l)}},$$

где $\mathbf{F}_{k-1}^{(l)}$, $\mathbf{H}_k^{(l)}$ — матрицы (якобианы), полученные в результате линеаризации функций объекта и наблюдателя в окрестностях вектора оценок $\hat{\mathbf{x}}_{k-1}^{(l)}$, определённого на $(k-1)$-м шаге алгоритма для структуры с номером l; $\mathbf{I}$ — единичная матрица размера $N \times N$.

С учётом сделанных предположений о вероятностных характеристиках помех и выбранного алгоритма формирования оценок конкретизируем процедуру принятия решения в РУ относительно текущих значений номера структуры объекта, представив её в виде следующих этапов.

На *этапе 1* вычисляются величины текущих невязок для каждой из структур по формуле

$$\mathbf{e}_k^{(l)} = \mathbf{z}_k - \mathbf{h}(\hat{\mathbf{x}}_k^{(l)}),\ l = \overline{1, L}.$$

На *этапе 2* для имеющейся текущей выборки невязок размера N_S (также для каждой из возможных структур) вычисляются значения их автокорреляционных функций (АКФ) для различных относительных временных сдвигов $t = 1, ..., N_t$ в соответствии с выражением:

$$C_k^{(l)}(t) = \frac{1}{M} \sum_{j=1}^{M} \frac{1}{N_e} \sum_{i=k-N_S+1}^{k} \mathbf{e}_i^{(l)}(j)\mathbf{e}_{i-t}^{(l)}(j),$$
$$l = \overline{1, L},\ t = 1, ..., N_t, \qquad (6)$$

где $\mathbf{e}_i^{(l)}(j)$ — обозначение j-го элемента вектора невязки $\mathbf{e}_i^{(l)}$, вычисленного на i-м шаге для структуры с номером l.

На основе полученных значений АКФ невязки на этом же этапе рассчитываются текущие значения критериальных функций $Q_k^{(l)}$, $l = \overline{1, L}$, по формуле

$$Q_k^{(l)} = \sum_{t=1}^{N_t} C_k^{(l)2}(t),\ l = \overline{1, L}. \qquad (7)$$

На *этапе 3* в качестве текущей оптимальной (в данном случае субоптимальной) оценки номера структуры объекта $\hat{l}_k$ выбирается номер структуры, соответствующий минимальному из рассчитанных значений $Q_k^{(l)}$, $l = \overline{1, L}$, т. е.

$$\hat{l}_k = \arg\min_i Q_k^{(l)}. \qquad (8)$$

Заметим, что выбор данного критерия обусловлен известным свойством значений невязок, получаемых на основе оптимальных оценок калмановской фильтрации: эквивалентностью их статистических характеристик аналогичным характеристикам белого шума (БШ) (в данном случае учитывалось свойство БШ, заключающееся в равенстве нулю значений его АКФ для любых относительных временных сдвигов), т. е. в качестве оптимальной оценки номера структуры принимается её значение, соответствующее минимальному суммарному квадратичному отклонению значений АКФ невязки для различных временных сдвигов относительно нуля.

Для сокращения вычислительных затрат после определения оптимального номера структуры $\hat{l}_k = m$ на текущем шаге дальнейшие вычисления этапов 1 и 2 алгоритма проводятся только для найденной m-й структуры. Возобновление расчёта для всей совокупности возможных структур осуществляется лишь при превышении значения критериальной функции $Q_k^{(m)}$ некоторой заранее заданной пороговой величины ΔQ.

На рис. 2 представлена детализированная структурная схема предлагаемого алгоритма идентификации (особенности учёта порогового значения ΔQ для сохранения простоты и наглядности схемы на рисунке не показаны).

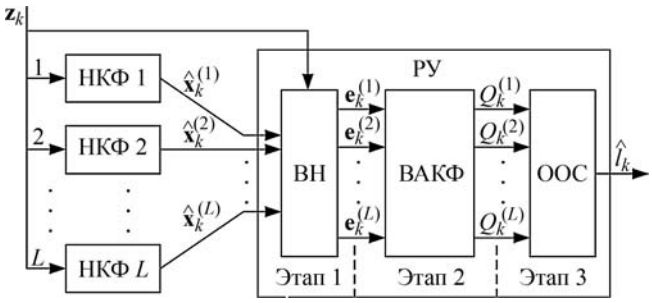


Рис. 2. Схема алгоритма структурной идентификации на основе критерия минимума АКФ невязки:
НФК l, $l = \overline{1, L}$ — нелинейный фильтр Калмана, соответствующий l-й структуре объекта; ВН — блок вычисления невязок; ВАКФ — блок вычисления АКФ невязки в соответствии с выражением (6); ООС — блок определения (в соответствии с выражением (8)) текущей оценки номера структуры $\hat{l}_k$, удовлетворяющей выбранному критерию оптимальности

Эффективность предложенного метода структурной идентификации проиллюстрируем приведённым ниже примером.

Пример. Пусть стохастический нелинейный объект со случайной сменой структуры задан следующей системой векторных уравнений:

$$\begin{cases} \mathbf{x}_k^{(1)} = \mathbf{f}^{(1)}(\mathbf{x}_{k-1}^{(1)}) + \mathbf{n}_k^{(1)} = \\ = \begin{bmatrix} 1{,}001 & 0 \\ 0 & 1 \end{bmatrix} \cdot \begin{bmatrix} x_{k-1}^{(1)}(1) \\ x_{k-1}^{(1)}(2) \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} n_k^{(1)} \\ 0 \end{bmatrix} \\ \mathbf{x}_k^{(2)} = \mathbf{f}^{(2)}(\mathbf{x}_{k-1}^{(2)}) + \mathbf{n}_k^{(2)} = \\ = \begin{bmatrix} 0{,}3\sin(0{,}25k x_{k-1}^{(2)}(2)) \\ x_{k-1}^{(2)}(2) \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} n_k^{(2)} \\ 0 \end{bmatrix}, \end{cases} \quad (9)$$

где $\mathbf{n}_k^{(1)}$, $\mathbf{n}_k^{(2)}$ — центрированные независимые гауссовские последовательности с дисперсиями $D_n^{(1)} = D_n^{(2)} = 0{,}03$ (при этом входящие в выражении (5) ковариационные матрицы шумов объекта для 1-й и 2-й структур определяются как $\mathbf{Q}^{(1)} = \mathbf{Q}^{(2)} = \begin{bmatrix} 0{,}03 & 0 \\ 0 & 0 \end{bmatrix}$).

Моменты смены структуры объекта для рассматриваемого примера выбирались в соответствии с представленной на рис. 3 зависимостью номера структуры l_k от шага работы алгоритма идентификации k.

Из приведённой зависимости видно, что в качестве начальной структуры многоструктурного объекта (9) выбрана структура с номером $l_1 = 2$. При этом начальный вектор состояния объекта выбирался равным $\mathbf{x}_1^{(2)} = \begin{bmatrix} -0{,}3 \\ 1 \end{bmatrix}$.

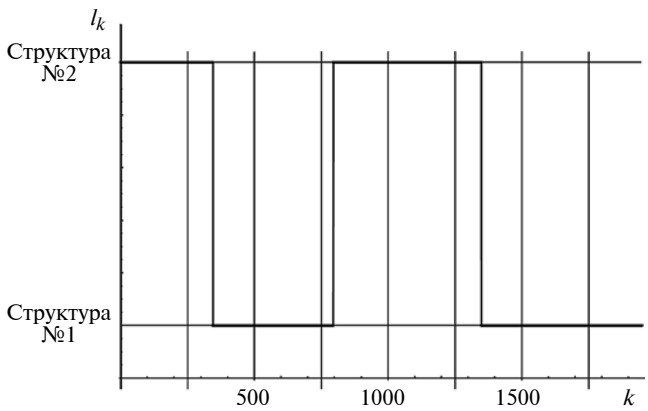


Рис. 3. Процесс изменения номера структуры объекта

Переменные состояния исследуемого объекта наблюдались скалярным измерителем, описываемым уравнением

$$z_k = [1\ 0]\mathbf{x}_k + w_k,$$

где w_k — центрированная независимая гауссовская последовательность с дисперсией $D_w = 0{,}05$ (входящая в выражение (5) ковариационная матрица шума наблюдения $\mathbf{R}$ состоит из одного элемента D_w).

Значения матриц $\mathbf{F}_k^{(l)}$ и $\mathbf{H}_k^{(l)}$, входящих в уравнения НФК (5), в рассматриваемом случае примут вид

$$\mathbf{F}_k^{(1)} = \begin{bmatrix} 1 & 0 \\ 0 & 1 \end{bmatrix},$$

$$\mathbf{F}_k^{(2)} = \begin{bmatrix} 0 & 0 \\ 0{,}045k\cos(0{,}1k\hat{x}_{k-1}^{(2)}(2)) & 1 \end{bmatrix},$$

$$\mathbf{H}_k^{(1)} = \mathbf{H}_k^{(2)} = \begin{bmatrix} 1 & 0 \end{bmatrix}.$$

Для всех использовавшихся в примере рекуррентных фильтров задавались следующие начальные условия функционирования:

$$\hat{\mathbf{x}}_1^{(1)} = \hat{\mathbf{x}}_1^{(2)} = \begin{bmatrix} 0 \\ 0{,}8 \end{bmatrix}, \mathbf{P}_1^{(1)} = \mathbf{P}_1^{(2)} = \begin{bmatrix} 0{,}05 & 0 \\ 0 & 0{,}05 \end{bmatrix}.$$

Размер выборки N_e и количество анализируемых относительных временных сдвигов N_t выбирались равными: $N_e = 40$, $N_t = 40$.

На рис. 4 представлены зависимости значений первых элементов векторов оценок $\hat{\mathbf{x}}_k^{(1)}$ и $\hat{\mathbf{x}}_k^{(2)}$, сформированных на выходах НФК 1 и НФК 2

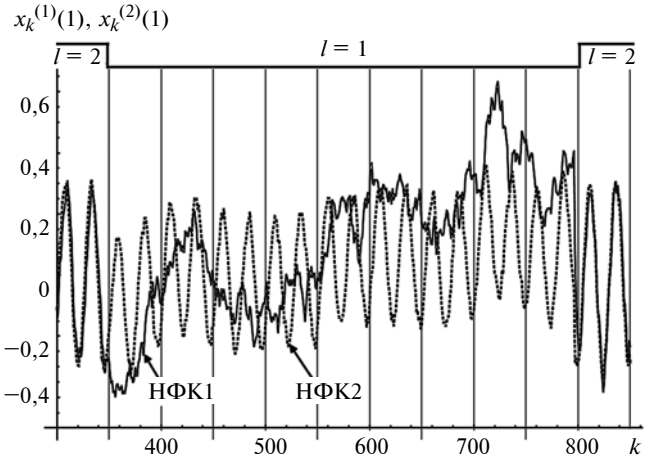


Рис. 4. Зависимость значений оценок переменных состояния от номера шага работы алгоритма

(см. рис. 2), от номера шага работы алгоритма (при $300 \leqslant k \leqslant 850$). Следует отметить, что вид представленных зависимостей, охватывающих только два первых изменения структуры объекта, не претерпевает каких-либо качественных изменений на протяжении всего времени работы алгоритма идентификации.

В качестве особенности приведённых графиков можно отметить существенную схожесть значений оценок для различных НФК, имеющую место при реализации структуры с номером $l = 2$, что, значительно уменьшая абсолютную разницу сравниваемых при минимизации значений усредненной АКФ $\overline{C}_k^{(1)}$ и $\overline{C}_k^{(2)}$, в то же время, как это будет показано ниже, не имеет принципиального влияния на корректность принятия окончательного решения относительно оцениваемого номера структуры объекта.

Наглядным подтверждением этого является представленная на рис. 5 зависимость значений критериальных функций $Q_k^{(l)}$ от номера шага

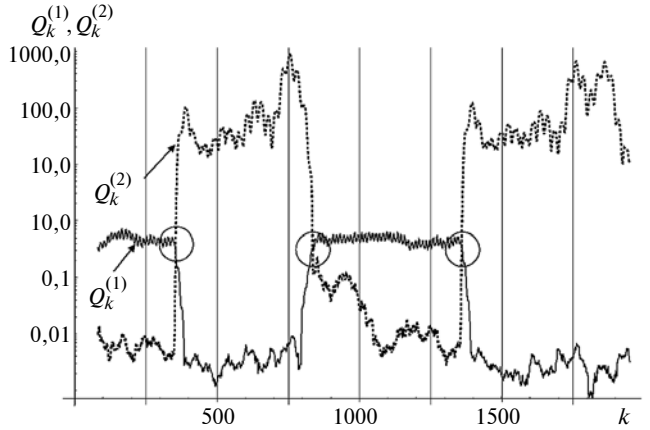


Рис. 5. Зависимость значений критериальных функций от номера шага работы алгоритма

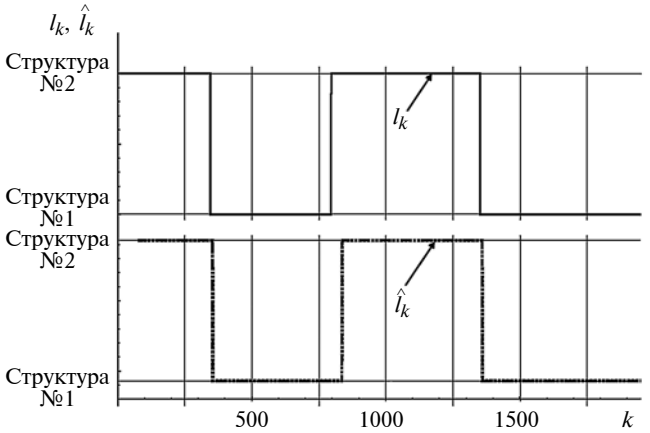


Рис. 6. Временное сопоставление оценок номеров структур с их истинными значениями

работы алгоритма с отмеченными моментами изменения значений оценок номера структуры, принятие решения о которых осуществлялось в соответствии с предложенным критерием минимума АКФ невязки (8).

На рис. 6 проиллюстрирована эффективность работы предлагаемого алгоритма идентификации сопоставлением на одной временной шкале полученных оценок структуры $\hat{l}_k$ и их истинных значений l_k, использовавшихся при моделировании случайного процесса смены структур (см. рис. 3).

Анализ представленных на рис. 6 зависимостей показывает, что различия в значениях номеров структур, определённых в соответствии с предложенным алгоритмом, и их истинных значений имеют место лишь на некотором относительно небольшом интервале работы алгоритма, следующим непосредственно за событием очередной смены структуры объекта. При этом следует отметить, что при переходе объекта из структуры 2 в структуру 1 величина этого интервала составляет всего около 8—10 шагов работы алгоритма.

Заключение. Анализ характерных особенностей рассмотренного подхода к структурной идентификации нелинейных дискретных динамических многоструктурных стохастических объектов позволяет выделить следующие его преимущества: инвариантность к виду закона случайной смены структур объекта; возможность использования для нелинейных динамических объектов произвольного вида; простоту вычисления критерия идентификации, обуславливающую высокую вычислительную эффективность и точность процедуры структурной идентификации.

Преимущества предложенного подхода, проиллюстрированные численным экспериментом, позволяют эффективно использовать его в широком спектре технических приложений: управлении, навигации, связи, космических исследованиях и т. д.

Работа выполнена при финансовой поддержке РФФИ (проект № 12-07-00012-а).

Библиографические ссылки

1. **Варакин Л.Е.** Теория систем сигналов. М.: Сов. радио, 1978. 304 с.

2. **Соловьев Ю.А.** Спутниковая навигация и её приложения. М.: Эко-Трендз, 2003. 270 с.

3. **Ярлыкова С.М.** Математические модели принимаемых шумоподобных сигналов в спутниковых системах мобильной связи с кодовым разделением каналов // Радиотехника. 2002. № 12. С. 27—35.

4. **Карабутов Н.Н.** Структурная идентификация систем: Анализ динамических структур. М.: МГИУ, 2008. 159 с.

5. **Артемьев В.М.** Теория динамических систем со случайными изменениями структуры. М.: Высшая школа, 1979. 160 с.

6. **Казаков И.Е., Артемьев В.М.** Оптимизация динамических систем случайной структуры. М.: Наука, 1980. 384 с.

7. **Хуторцев В.В., Соколов С.В., Шевчук П.С.** Современные принципы управления и фильтрации в стохастических системах. М.: Радио и связь, 2001. 808 с.

8. **Ronghua Guo** Interacting Multiple model particle-type filtering approaches to ground target tracking // Journal of Computers. 2008. Vol. 3, No. 7. P. 23—30.

9. **Gordon N.J., Salmond D.J., Smith A.F.M.** Novel approach to nonlinear/non-Gaussian Bayesian state estimation // IEE Proceedings-F. 1993. Vol. 140, No. 2. P. 107—113.

10. **Doucet A., Godsill S., Andrieu C.** On sequential Monte-Carlo sampling methods for Bayesian filtering // Statistics and Computing. 2000. Vol. 10, No. 3. P. 197—208.

11. **Кошаев Д.А.** Многоальтернативный метод обнаружения и оценки нарушений на основе расширенного фильтра Калмана // Автоматика и телемеханика. 2010. № 5. С. 70—83.

12. **Сейдж Э., Мелс Дж.** Теория оценивания и ее применение в связи и управлении. М.: Связь, 1976. 496 с.

13. **Пугачёв В.С., Синицын И.Н.** Теория стохастических систем. М.: Логос, 2004. 1000 с.

УДК 658.512:681.2.08

Г.Х. Ирзаев, канд. техн. наук, доц.
(Дагестанский государственный технический университет, г. Махачкала),
А.А. Адамова, канд. техн. наук, доц.
(Московский государственный технический университет им. Н.Э. Баумана)
irzajev@mail.ru

АВТОМАТИЗАЦИЯ ПРОЦЕССА ФОРМИРОВАНИЯ СИСТЕМЫ ПОКАЗАТЕЛЕЙ ДЛЯ ОЦЕНКИ ТЕХНОЛОГИЧНОСТИ КОНСТРУКЦИИ ИЗДЕЛИЯ

Разработана математическая модель формирования оптимального состава системы показателей технологичности конструкции изделий приборостроения, основанная на опыте экспертов, накопленном в ходе проектирования и освоения аналогов. Предложена автоматизированная система формирования показателей и количественной оценки технологичности конструкции, позволяющая минимизировать временные затраты на анализ проекта на всех этапах его разработки.

Ключевые слова: технологичность конструкции, система показателей, эксперт, число предпочтений.

The forming mathematical model of the system indicators optimum structure for the instrument making product designs manufacturability, based on the experts experience which has been saved up during design and development of analogs, is developed. The indicators formation automated system of indicators and designs manufacturability quantitative valuation, allowing to minimize time expenditure on the project analysis at all stages of its development is offered.

Key words: manufacturability, indicators system, expert, number of preferences.

Введение. Задача обеспечения технологичности конструкции (ТК) изделий приборостроения в условиях современного предприятия является по-прежнему актуальной и обусловлена необходимостью проведения этапов проектирования и освоения в сжатые сроки и с минимальными затратами. При этом ключевым элементом производственной системы обеспечения ТК является корректная оценка технологичности на различных этапах разработки и освоения серийного производства изделия с помощью системы количественных показателей [1]. Правильный выбор основных и дополнительных показателей ТК позволяет объективно оценить резервы повышения качества конструкции по сравнению с аналогами и обеспечить изделию экономичность в изготовлении, максимальную ремонтопригодность, надёжность и функциональность.

Система обеспечения ТК относится к слабо структурированным системам, характеризующимся неполнотой и неопределённостью информационной модели вследствие как низкой досто-

верности, так и неполнотой информационных потоков, что подтверждается неразработанностью методологической основы по созданию и внедрению в промышленность автоматизированной системы обеспечения ТК изделий и необходимостью использования экспертных методов при формировании системы количественных показателей технологичности. Схемы выбора системы представительных показателей ТК требуют дальнейших исследований и структуризации, так как зависят от исходных данных, вида изделия, этапа проектирования и действующих в производственной среде факторов.

Система показателей технологичности конструкции изделия. Такая система может оказаться эффективной лишь в том случае, если она правильно сформирована по своему количественному составу и качественной структуре, регулярно пересматривается по истечении 4—6 лет исходя из среднего срока морального старения многих изделий приборостроения. При этом состав показателей должен быть динамичным, зависящим от вида оцениваемого объекта, стадии разработки, наличия аналогов, ранее освоенных в производстве, условий выполнения технологических процессов, технического и организационного уровня и типа производства, применяемого оборудования, инструмента и технологической оснастки, готовности систем технического обслуживания предприятия-изготовителя, намеченных целей производства в конкретный момент времени [2]. Для учёта всех перечисленных факторов необходимо выработать логическую последовательность оптимизации состава показателей ТК изделий.

Стандарты и другие нормативно-технические документы недостаточно чётко и полно регламентируют порядок выбора основных и дополнительных показателей ТК изделий приборостроения и этапы их использования. Согласно им количество ограничивается 7 показателями, оказывающими наибольшее влияние на ТК изделия и его составных частей. Изделие, оцениваемое на технологичность, предварительно относят к одному из классов, для которых определён рекомендуемый состав частных показателей с указанием зафиксированного коэффициента их веса. Таким образом, цепочка "класс изделия — состав показателей — вес показателя" является жёстко закрепленной без учёта вида изделия, организационно-технических условий производства и других динамично изменяющихся факторов. Однако было бы правильным расчёт весового коэффициента показателя внутри системы проводить гибко, с учётом его связей с другими факторами производства.

Формировать состав показателей следует также обоснованно, с учётом взаимной коррелированности, взвешивая последствия, связанные с погрешностями в оценках. В состав системы, бесспорно, должны быть включены такие основные показатели, как трудоёмкость, технологическая себестоимость, элементоёмкость (материалоёмкость), а выбор дополнительных (частных) показателей должен осуществляться с учётом, как вышеприведенных факторов, так и опыта, накопленного в ходе проектирования и освоения изделий-аналогов данного класса. Всё это вынуждает прибегать к использованию знаний и опыта производственных экспертов, как предприятия-разработчика, так и предприятия-изготовителя. Использование экспертных оценок, на наш взгляд, один из эффективных методов оптимизации системы количественных показателей ТК изделий.

Математическая модель формирования системы показателей технологичности конструкции. Для моделирования системы формирования оптимального состава показателей ТК изделия предлагается использовать аппарат теории выбора и принятия решений с помощью экспертных процедур.

Для решения задачи выбора оптимального числа показателей ТК экспертами, компетентными в рассматриваемой предметной области, необходимо сформировать возможное множество показателей $\Omega_в$ с последующим решением задачи выбора из него допустимых показателей Ω, т. е. для структурных объектов с известными свойствами, применимостью в проектно-производственных условиях и рядом выработанных практикой ограничений, решить задачу типа

$$\langle \Omega_в, ОП \rangle,$$

где $ОП$ — принцип оптимальности, выражающий условие допустимости вариантов и математически задаваемый функцией выбора

$$C_{оп}(X) = \begin{cases} a, \text{ если } a \in X \subseteq \Omega, \\ \varnothing, \text{ если } a \notin X \subseteq \Omega, \end{cases}$$

где a — оценка системы, которая является решением задачи $\langle \Omega, ОП \rangle$.

Пусть, таким образом, имеем множество допустимых оценок $\Omega = \{0, 1\}$, $\Omega_э$ — множество всех матриц $A = (a_{ij})$, где

$$a_{ij} \in \{0, 1\},\ a_{ij} + a_{ji} = 1\ (i \neq j),$$
$$a_{ii} = 0\ (i = \overline{1, n}). \qquad (1)$$

Проведём экспертизу с привлечением изолированных экспертов, количество и компетентность которых определены заранее, например, с помощью методов, предложенных в [3, 4]. Эксперты осуществляют парные сравнения показателей по критерию информативности для коллективного формирования системы наиболее представительных показателей технологичности. При этом функция выбора эксперта $C(\Omega) = 1$, если i-показатель более информативен, чем j-й показатель и $C(\Omega) = 0$ — в противном случае.

Эксперт сравнивает все показатели между собой, т. е. проводит C_n^2 сравнений, где n — количество показателей. В результате опроса от каждого эксперта получают матрицу бинарных отношений размерностью $n \times n$, в которой по строкам и столбцам представлены сравниваемые показатели ТК. При обработке матрицы определяется общее число предпочтений k-го эксперта по каждому i-му показателю как

$$s_i^k = \sum_{i=1}^{n} p_i^k, \qquad (1)$$

где p_i^k — число предпочтений i-го показателя перед другими показателями, выставленное k-м экспертом согласно функции выбора; i — порядковый номер показателя ($i = \overline{1, n}$).

Далее рассчитывается среднее число предпочтений i-го показателя по всем экспертам

$$\overline{S}_i = \frac{\sum_{k=1}^{m} s_i^k}{m}, \qquad (2)$$

где k — порядковый номер эксперта ($k = 1, m$).

Показатели ТК упорядочивают в соответствии с величинами $\overline{S}_i$. Показателю, имеющему наименьшее число $\overline{S}_i$, присваивается ранг $\overline{r}_i = 1$ и т. д. Причём может оказаться, что два и более показателя имеют одинаковые числа $\overline{S}_i$. Тогда им присваиваются одинаковые (связанные) ранги.

Оценку согласованности ранжирования чисел предпочтений отдельных экспертов с ранжированием средних чисел предпочтений показателя ТК проводят с помощью коэффициента ранговой корреляции Спирмэна, который при отсутствии связанных рангов определяется по формуле:

$$\rho_k = 1 - \frac{6 \sum_{i=1}^{n} (r_i - r_i^k)^2}{n^3 - n},$$

где $\overline{r}_i$ — ранг среднего числа предпочтений i-го показателя; r_i^k — ранг, присвоенный i-му показателю k-м экспертом; n — количество показателей технологичности, а при наличии связанных рангов, соответственно, по формуле:

$$\rho_k = \frac{1/6(n^3 - n) - \sum_{i=1}^{n} (\overline{r}_i - r_i^k)^2 - T - U}{\sqrt{[1/6(n^3 - n) - 2T][1/6(n^3 - n) - 2U]}},$$

где $T = \frac{1}{2} \sum_{i=1}^{n} t_i(t_i - 1)$; $U = \frac{1}{2} \sum_{i=1}^{n} u_i(u_i - 1)$; t_i — число повторений i-го ранга в ранжировании $\overline{r}_i$; u_i — число повторений i-го ранга в ранжировании r_i^k.

В крайних случаях $\rho_k = 1$, если ранжирования $\overline{r}_i$ и r_i^k полностью совпадают и $\rho_k = -1$, если они противоположны. При $\rho_k = 0$ — ранжирования независимы.

Эксперты, давшие статистически противоречивые оценки, должны быть исключены из группы. Для этого используется проверка на превышение допустимого порогового значения $D_{пор}$ критерия Диксона

$$D_k = \frac{\rho_k - \rho_{min}}{\rho_{max} - \rho_{min}},$$

где ρ_{max}, ρ_{min} — соответственно максимальное и минимальное значения коэффициента корреляции Спирмэна в группе экспертов.

Для оставшихся экспертов с учётом их количества пересчитываются числа предпочтений по формулам (1) и (2) и строятся соответствующие ранжирования.

Оценка согласованности внутри новой группы со статистически значимыми оценками определяется с помощью дисперсионного коэффици-

ента конкордации, который при отсутствии связанных рангов имеет вид:

$$W = \frac{12Q}{m_1^2(n^3 - n)}, \quad (3)$$

а при наличии связанных рангов рассчитывается по формуле:

$$W = \frac{12Q}{m_1^2(n^3 - n) - m_1 \sum_{k=1}^{m_1} T_k}, \quad (4)$$

где Q — оценка дисперсии; T_k — показатель связанных чисел предпочтений в k-м ранжировании; m_1 — количество оставшихся экспертов в группе; k — индекс эксперта в группе ($k = 1, 2, ..., m_1$); n — количество сравниваемых показателей.

В формулах (3) и (4) оценка дисперсии определяется как

$$Q = \sum_{i=1}^{n} \left(\sum_{k=1}^{m_1} r_i^k - m_1(n+1)/2 \right)^2,$$

где r_i^k — ранг, присвоенный i-му показателю k-м экспертом.

В формуле (4) T_k определяется как

$$T_k = \sum_{i=1}^{H_k} (h_t^3 - h_t),$$

где H_k — число групп равных чисел предпочтений в k-м ранжировании; h_t — число равных чисел предпочтений в t-й группе связанных рангов в ранжировании k-го эксперта.

Если количество показателей $n > 7$, оценка значимости коэффициента конкордации может быть произведена по критерию Пирсона X^2, который для степеней свободы $\nu = n - 1$ и при наличии связанных рангов имеет величину:

$$X^2 = \frac{12Q}{nm_1(n+1) - \frac{1}{n-1} \sum_{k=1}^{m_1} T_k}.$$

Достоверность оценки коэффициента конкордации $D(X^2)$ должна удовлетворять условию

$$D(X^2) \geqslant 1 - \alpha, \quad (5)$$

где α — уровень значимости.

Если условие (5) выполняется, то гипотеза о внутригрупповом согласии экспертов принимается, в противном случае — отвергается, и тогда необходимо проведение второго тура экспертизы для корректирования экспертами своих оценок с учётом усреднённого мнения группы.

Таким образом, наиболее представительными считаются те показатели ТК, у которых суммарные числа предпочтений окажутся больше среднего уровня, определяемого как среднее арифметическое значений уровней предпочтений показателей.

Определение веса представительного показателя ТК производится согласно формуле:

$$b_i = \frac{\bar{S}_i}{\sum_{i=1}^{n_1} \bar{S}_i},$$

где b_i — вес i-го показателя ТК при условии $\sum_{i=1}^{n_1} b_i = 1$; $\bar{S}_i$ — среднее суммарное число предпочтений i-го частного показателя ТК по всем оставленным экспертам m_1; n_1 — число оставшихся представительных показателей ТК, число предпочтений которых выше среднего уровня.

Автоматизированная система формирования показателей и количественной оценки технологичности конструкции. Процессы автоматизированного формирования системы показателей и количественной оценки ТК изделий целесообразно встроить в комплекс задач проектирования, производства, реализации, эксплуатации и утилизации продукции, решаемых с помощью интегрированных CAD/CAM/CAE-систем предприятия приборостроения [5]. Программное обеспечение и графический интерфейс автоматизированной системы разработаны с помощью технологии объектно-ориентированного программирования на языке Delphi 7 и учитывают опыт программистов и основные требования, предъявляемые к подобным системам.

Автоматизированная система имеет многомодульную структуру построения, которая представлена на блок-схеме программной реализации (рис. 1).

Модуль ввода исходных данных предназначен для установки следующих начальных данных по оцениваемому объекту (детали, сборочной единице, изделию): наименование, вид и класс объекта, стадия разработки, уровень значимости

внутригруппового согласия экспертов и доверительной вероятности P_0, набор показателей ТК, ориентированных на данную конструкцию, первоначальный список экспертов. Доступ к модулю для записи, корректировки и удаления информации имеет только руководитель проекта. Модуль снабжён средствами, обеспечивающими создание и ведение информационно-накопительного блока исходных данных, многократно используемых в процессе обработки экспертной информации другими модулями системы.

Модуль опроса экспертов осуществляет диалоговую процедуру опроса в режиме парного сравнения количественных показателей ТК изделия по критерию их информативности. Пример заполненной экспертом матрицы предпочтений показан на рис. 2. В конце процедуры данные сохраняются модулем в отдельных рабочих файлах базы данных (БД).

Модуль статистической обработки информации осуществляет обработку экспертной информации согласно вышеприведённой математической модели. Модуль строит результирующее ранжирование и гистограмму предпочтительности показателей, которая вместе с весовыми коэффициентами существенных показателей служит исходной информацией для модуля их расчёта. Данные экспертов со значимыми оценками записываются модулем в стандартном формате в разделы библиотеки-архива.

Модуль расчёта частных показателей ТК предназначен для ввода численных значений исходных составляющих формул расчёта тех показателей, которые были выбраны экспертами на предыдущем этапе ранжи-

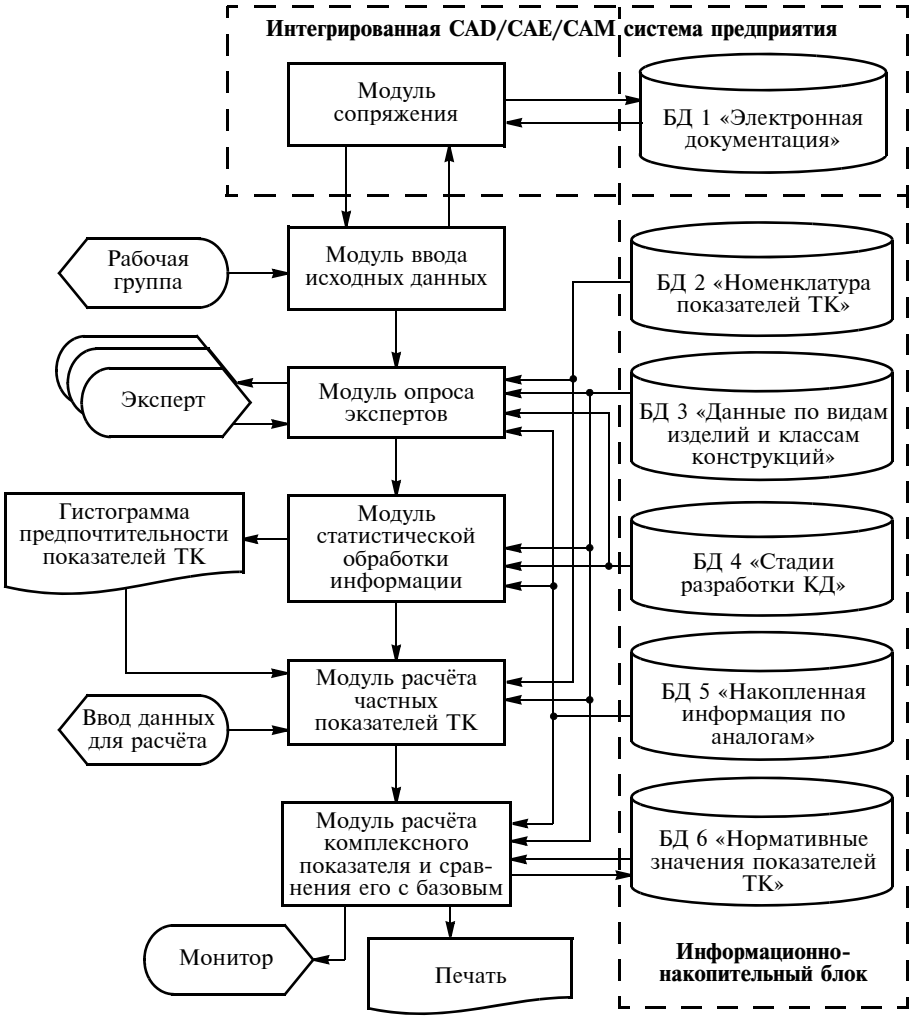


Рис. 1. Блок-схема программной реализации автоматизированной системы формирования системы показателей и количественной оценки технологичности

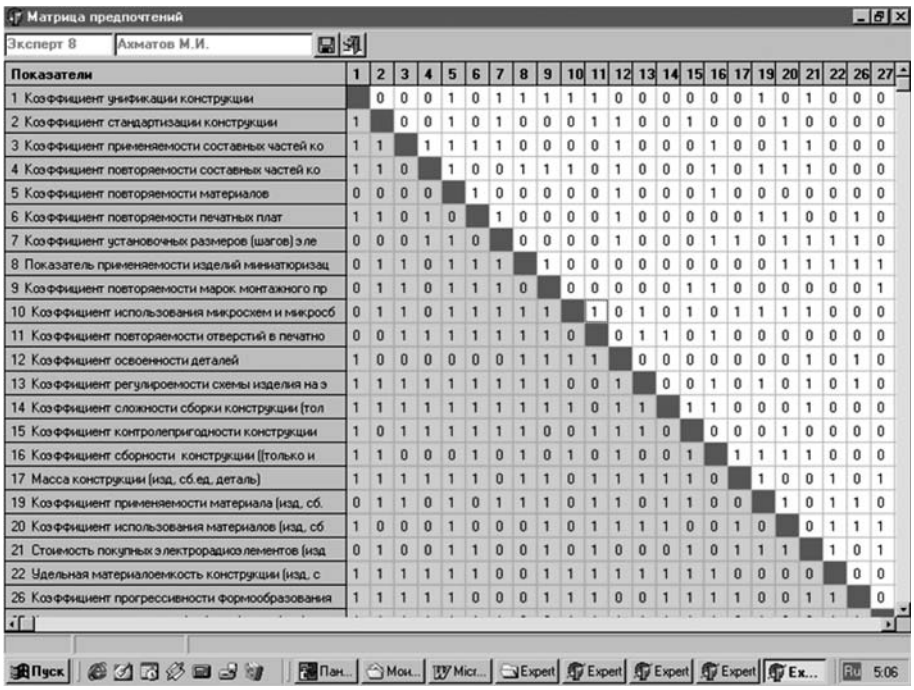


Рис. 2. Экранная форма матрицы предпочтений

рования и расчёта их значений. Экранная форма выполнения процедуры расчёта показателя ТК представлена на рис. 3.

Модуль расчёта комплексного показателя ТК позволяет выводить на монитор или распечатать таблицы со значениями частных показателей, их весовых коэффициентов, а также значение комплексного показателя технологичности. При этом система сопоставляет полученное значение ТК с нормативным из БД значений базовых показателей и даёт заключение о степени ТК изделия приборостроения. Вид итоговой таблицы, выдаваемой системой по окончании процедур формирования показателей и расчёта их значений, показан на рис. 4.

Модуль сопряжения позволяет обеспечить выход экспертов и руководителя проекта в информационное пространство предприятия с целью просмотра и анализа геометрических и электронных моделей и макетов, оцениваемых на технологичность деталей, сборочных единиц, изделий, учёта типовых решений и практического опыта по проектированию объектов-аналогов.

Информационно-накопительный блок системы состоит из БД, содержащих следующие массивы информации:

номенклатура показателей ТК представляет собой множество основных и дополнительных показателей для количественной оценки. Информация о показателях и их расчётных формулах извлекается из библиотек конструкторско-технологических подразделений приборостроительного предприятия, нормативно-технических и других методических документов, регламентирующих порядок оценки и отработки изделий на технологичность;

тип анализируемых изделий (деталь, сборочная единица, изделие) и класс конструкций (электронные, электромеханические, механические, радиотехнические, соединительные, коммутационные, распределительные), которые влияют на формируемый системой набор показателей из предыдущего массива и нормативные значения комплексного показателя ТК;

стадия разработки конструкции, от которой также зависят система показателей ТК и нормативные значения комплексного показателя. Процессы отработки изделия на техноло-

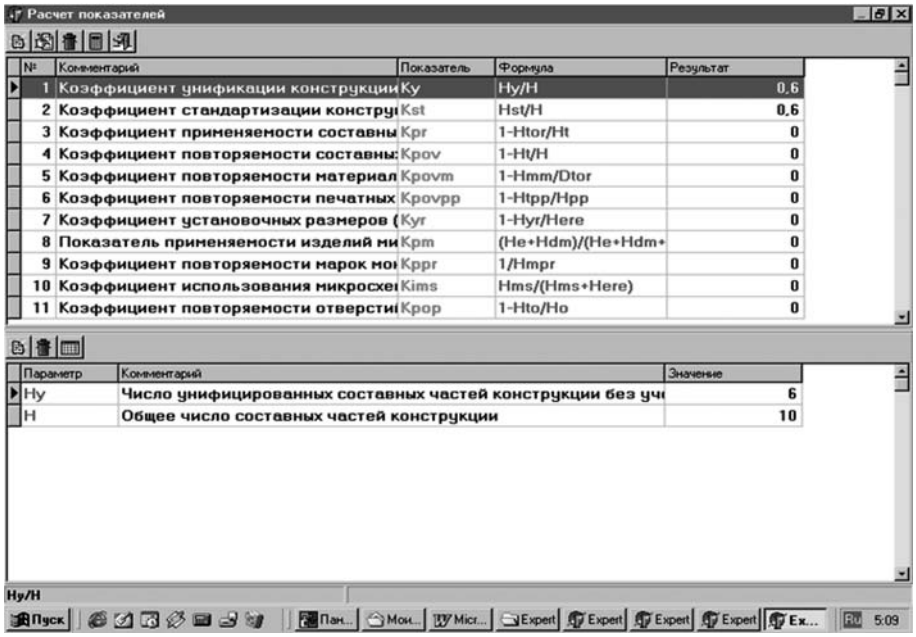


Рис. 3. Вид экрана при выполнении системой расчёта показателя

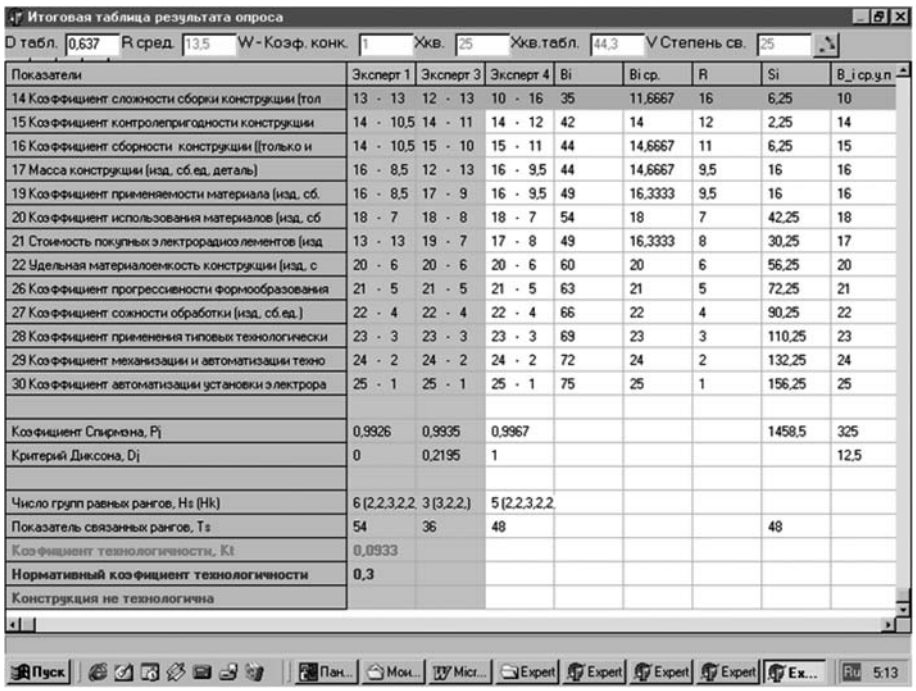


Рис. 4. Таблица результатов оценки технологичности конструкции

гичность при проектировании начинаются со стадии эскизного проекта, продолжаются в ходе технического проекта и разработки рабочей документации. Последняя стадия разбита на три ответственных по насыщенности и эффективности процессов оценки технологичности этапа: изготовление и испытание опытного образца, испытание установочной серии, установившееся серийное производство;

нормативные значения комплексного показателя технологичности изделия представляют собой диапазоны числовых значений показателя, зависящие от комбинации структуры элементов первых трёх массивов;

конструкторская, технологическая информация по изделию и предприятию-изготовителю, которые получают из CAD/CAM/CAE-систем в электронном виде (тогда необходимо поддерживать связь с БД этих систем), либо представляют экспертам в виде твёрдых копий для ознакомления с изделием перед его оценкой на технологичность.

накопленная информация о показателях технологичности по изделиям-аналогам, которая позволяет экспертам проводить сравнительный анализ уровня ТК и методов её обеспечения, видеть динамику затрат всех видов в разрезе конкретных классов изделий.

Таким образом, информационно-накопительный блок служит как для хранения входной информации, окончательных и промежуточных результатов, так и для поддержания интерфейса между модулями. Технология, инструментальные средства и информационное обеспечение автоматизированной системы формирования показателей и количественной оценки ТК изделия должны обеспечивать поддержку и интеграцию деятельности не столько программистов, сколько конструкторов, технологов, экономистов, схемотехников и методистов. Такой подход к решению проблемы формирования репрезентативных показателей и достоверной оценки технологичности за счёт интеграции знаний из объективных источников позволяет находить каждому специалисту оптимальное место в технологии создания информационного обеспечения системы.

Заключение. Проектирование и отработка конструкции изделия на предприятии связаны, как правило, с выбором показателей, позволяющих достоверно оценить её технологичность, проведением расчётов их численных значений и трудоёмкой обработкой больших массивов информации, особенно для высокотехнологичных изделий приборостроения, обладающих значительным многообразием марок и сортаментов применяемых материалов и элементов, большим количеством типоразмеров составных частей конструкции, разнообразием конструкторско-технологических решений.

Предложенная модель и автоматизированная система позволяют применить научно обоснованные подходы при выборе системы представительных показателей технологичности, минимизировать временные затраты на анализ проекта на любых стадиях его разработки, сократить производственные затраты, в том числе на инженерные изменения, ускорить отладку технологии под новое изделие приборостроения. Выбор показателей ТК осуществляется с учётом особенностей конструкции и технологического уровня предприятия-изготовителя на базе коллективного опыта экспертов. Поэтому точность предлагаемой модели во многом зависит от объективности информации, полученной от экспертов. Ее можно повысить за счёт правильного отбора компетентных специалистов для участия в работе экспертных групп.

Система базируется на принципах, заложенных в CALS-технологии, имеет типовые операционные и стандартные программные средства, легко встраивается в существующие на многих предприятиях приборостроительной отрасли современные системы проектирования и анализа. Это подтверждают и экспериментальные данные, полученные при внедрении и эксплуатации системы в условиях реального приборостроительного производства.

Библиографические ссылки

1. **Говорков А.С.** Методика количественной оценки технологичности конструкции изделий авиационной техники // Вестник Московского авиационного института. 2013. Т. 20. № 1. С. 31—37.

2. **Адамов А.П., Ирзаев Г.Х., Адамова А.А.** К проблеме автоматизированной количественной оценки технологичности современных электронных средств // Проектирование и технология электронных средств. 2006. № 1. С. 18—22.

3. **Ирзаев Г.Х.** Система отбора компетентных экспертов для решения проектно-производственных задач // Автоматизация и современные технологии. 2008. № 1. С. 40—46.

4. **Ирзаев Г.Х.** Выбор количественного состава экспертной группы при оценке свойств промышленных изделий // Автоматизация и современные технологии. 2010. № 4. С. 44—46.

5. **Баженов Р.И., Векслер В.А.** Корпоративные информационные системы. Биробиджан: Изд-во ГОУ ВПО "ДВГСГА", 2011. 208 с.

УДК 004.891

М.П. Силич, д-р техн. наук, проф., **Е.И. Грибков,**
(Томский государственный университет систем управления и радиоэлектроники),
В.А. Силич, д-р техн. наук, проф., **С.В. Аксенов,** канд. техн. наук, доц.
(Национальный исследовательский Томский политехнический университет), Томск,
smp@muma.tusur.ru

МЕТОД ГЕНЕРИРОВАНИЯ НАИМЕНОВАНИЙ КЛАСТЕРОВ ТЕРРИТОРИАЛЬНЫХ ОБРАЗОВАНИЙ ПРИ ОЦЕНКЕ УРОВНЯ ИХ РАЗВИТИЯ

Предлагается метод формирования наименований кластеров, выделяемых при группировке территориальных образований по показателям, характеризующим различные факторы. Группировка по факторам, соответствующим природно-климатическим, географическим, социально-экономическим и другим условиям, позволяет выделить регионы с похожими условиями, результатом дальнейшей кластеризации в рамках этих групп по факторам, связанным с развитием территории, являются группы регионов с приблизительно одинаковым уровнем развития. Наименования кластеров отражают оценку входящих в него образований по соответствующему фактору, выраженную в виде термов лингвистической переменной. Предлагаются правила, по которым каждому кластеру присваивается наименование либо одного из термов базового терм-множества, либо нового терма, сгенерированного на основе базовых.

Ключевые слова: сравнительная оценка, территориальные образования, лингвистическая переменная, генерирование термов, нечёткая кластеризация.

The formation method of the clusters names choosed at territorial formation classification on indicators, characterizing various factors is offered. The grouping on the factors corresponding to natural-climatic, geographical, social and economic and others conditions allows to choose regions with similar conditions. The further clustering results within these groups on the factors connected with territory development are regions groups regions with approximately identical level of development. Clusters names reflect an entering formation valuation on the corresponding factor, expressed in the of terms type of a linguistic variable. Rules by which the terms name one of basic term set, or the new term name generated from a basic terms is appropriated to each cluster are offered.

Key words: comparative valuation, territorial formations, linguistic variable, generation of terms, fuzzy clustering.

Введение

Разнообразие природно-климатических, географических, социально-экономических, инфраструктурных и других условий затрудняет сравнение территориальных образований (стран, субъектов федерации, муниципальных образований) друг с другом по уровню их развития. В частности, при оценке энергетической эффективности различных территориальных образований (ТО) необходимо учитывать такие факторы, как климатические условия, наличие возобновляемых и невозобновляемых энергоресурсов, транспортная доступность, структура экономики, протяженность тепловых и электрических сетей, уровень физического и морального износа зданий и многие другие [1, 2]. Одним из способов сравнительного анализа регионов с учётом разнообразия сложившихся на их территории условий является типологическая группировка, т. е. разбиение множества регионов на группы с сопоставимыми условиями. Дальнейшая группировка в рамках каждой из групп по показателям, характеризующим уровень развития, позволяет выделить подмножества территориальных образований с приблизительно одинаковым уровнем. Целесообразно использовать методы нечёткой кластеризации. Это позволяет избежать субъективности в выделении типологических групп, решить дилемму, куда отнести регионы, лежащие на границе групп, неизбежно возникающую при чёткой кластеризации.

В работах [3, 4] описан автоматизированный метод сравнительной оценки энергоэффективности территориальных образований, разрабатываемый авторами данной работы, заключающийся в следующем. Выделяется множество "энергетических" факторов, по которым можно судить об уровне энергосбережения в регионе, и множество "внешних" факторов, отражающих сложившиеся на территории региона условия,

влияющие на потенциал энергосбережения и возможность его реализации. Причинно-следственные зависимости факторов друг от друга фиксируются с помощью иерархической когнитивной карты. Каждый фактор может характеризоваться одним или несколькими измеримыми индикаторами. Нечёткие оценки "энергетических" факторов могут быть получены разными способами, в том числе по функциям принадлежности. Причём функции могут быть заданы дискретно путем нечёткой кластеризации в пространстве индикаторов. Чтобы учесть влияние "внешних" факторов предварительно выделяются кластеры по соответствующим индикаторам и функции принадлежности строятся отдельно для каждого кластера.

Одной из проблем, возникающих при использовании данного подхода, является формирование наименований кластеров на естественном языке. Кластеры нельзя назвать произвольно или просто пронумеровать в определённом порядке, так как они интерпретируются как оценки факторов, позволяющие судить об уровне эффективности того или иного ТО. Нужно учитывать, что наиболее адекватные результаты группировки объектов получаются при нефиксированном количестве кластеров. При этом эксперт на этапе формирования модели не может заранее знать, сколько получится кластеров и как они будут распределены. Он может задать лишь некоторые "опорные" наименования, определяющие, например, худшее, среднее и лучшее значения лингвистических оценок факторов. Окончательные имена кластерам в этом случае должен давать конечный пользователь в ходе вычисления оценок заданных факторов, что может вызывать у него затруднения. Особую сложность представляют случаи, когда кластеризация осуществляется по множеству индикаторов и даже визуализация кластеров в многомерном пространстве не всегда возможна.

Задача подбора наименований кластеров может рассматриваться как задача формирования новых термов лингвистической переменной из множества заданных термов на основе некоторой синтаксической процедуры. Данная работа посвящена разработке автоматизированного метода генерирования термов для оценки групп сравниваемых территориальных образований, полученных в результате нечёткой кластеризации, по факторам, отражающим уровень развития ТО и сложившиеся условия.

Кластеризация территориальных образований. Имеется множество территориальных образований $O = \{o_k\}$, являющихся объектами сравнения. Сравнение может осуществляться по различным факторам. При этом под фактором понимается некоторое свойство системы, оцениваемое на качественном уровне. Примеры факторов для оценки энергетической эффективности ТО: "уровень электропотребления в промышленности", "существенность расходов домохозяйств на электроэнергию", "информированность о существующих технологиях энергосбережения". Среди факторов выделяется подмножество внешних факторов, описывающих сложившиеся условия, например "суровость климатических условий", "уровень энергоёмкости производственной сферы", "уровень благоустройства жилых домов". Между факторами устанавливаются отношения влияния: R^{FF}: $F \times F \to [-1, 1]$, которым приписываются весовые коэффициенты, характеризующие как направление влияния (положительное или отрицательное), так и силу влияния.

Каждому фактору $f_i \in F$ соответствует лингвистическая переменная, характеризуемая терм-множеством $T^i = \{T_1^i, T_2^i, ..., T_M^i\}$, термы которого представляют собой нечёткие оценки типовых состояний фактора, например "низкая", "средняя", "высокая". Предполагается, что на множестве термов задано отношение порядка: если $T_1^i \neq T_2^i$, то либо $T_1^i \succ T_2^i$, либо $T_2^i \succ T_1^i$.

Для получения оценок используются индикаторы $e_j \in E$ — измеримые показатели, характеризующие факторы. Значения индикаторов определяются либо с помощью объективных измерений, либо вычисляются на основе исходных данных по формулам. Между фактором и индикатором может быть установлено отношение ассоциации R^{FE}: $F \times E \to [0, 1]$. Отношению $f_i R^{FE} e_j$ сопоставляется коэффициент соответствия a_{ij} (число от 0 до 1). Чем выше значение коэффициента, тем точнее индикатор e_j характеризует фактор f_i. Фактор может быть связан с несколькими индикаторами. Например, фактор "уровень потребления ТЭР в производственной сфере" можно оценивать по показателям: "энергоёмкость заработной платы", "энергоёмкость рабочего места", "энергоёмкость совокупного объёма отгруженной продукции", "энергоёмкость валовой добавленной стоимости".

Каждое территориальное образование $o_k \in O$ характеризуется собственным набором значений

индикаторов $\{e_j^k\}$. В результате анализа необходимо для каждого ТО получить нечёткие оценки факторов $\{f_i^k\}$ в виде: $<T(f_i^k),\ \mu_{T(f_i^k)}>$. Чтобы получить оценку фактора f_i по значениям индикаторов, можно для каждого индикатора e_j ($f_i R^{FE} e_j$) построить набор функций принадлежности, выполнить фаззификацию значений индикатора и агрегировать оценки по всем индикаторам.

Другой способ — выполнить нечёткую кластеризацию в пространстве значений индикаторов. Нечёткая кластеризация позволяет определить нечёткое покрытие: $\Im(O) = \{O_l | O_l \subseteq O\}$, $l = \overline{1, L}$, которое задается матрицей $\|\mu_{O_l}(o_k)\|$ значений функций принадлежности объектов $o_k \in O$ нечётким кластерам O_l. Наименования кластеров O_l можно рассматривать как термы T^l лингвистической переменной, сопоставленной соответствующему фактору. Значения функций принадлежности для термов при этом равны значениям функций принадлежности кластеров: $\mu_{T^l(f_i^k)} = \mu_{O_l}(o_k)$. Кластеризацию территориальных образований предлагается выполнять с помощью алгоритма Густаффсона—Кесселя — одного из нейросетевых методов, использующих соревновательную нейронную сеть с обучением без учителя [5].

Если на оцениваемый фактор f_1 влияет внешний фактор f_2 ($f_2 D^{FF} f_1$), то сначала осуществляется кластеризация по внешнему фактору f_2 в пространстве значений характеризующих его индикаторов, а затем для каждого полученного кластера выполняется разбиение по признакам, сопоставленным оцениваемому фактору f_1. Степени принадлежностей объектов кластерам по фактору f_1 корректируются с учётом принадлежности по фактору f_2 с помощью операции минимума.

Генерирование наименований кластеров. Рассмотрим ситуацию, когда для оцениваемого фактора f заранее задано M типовых состояний (оценок) в виде базового терм-множества: $T = \{T_1, T_2, ..., T_M\}$. Термы проранжированы в порядке возрастания оцениваемого свойства. В большинстве случаев целесообразно задать $M = 3$. В результате нечёткой кластеризации получено L кластеров (в общем случае $L \neq M$). Нужно сопоставить каждому кластеру один из базовых термов или новый, сгенерированный на основе базовых с помощью синтаксических правил.

Идея предлагаемого метода состоит в том, чтобы сопоставить базовым термам границы "идеальных" кластеров в пространстве индикаторов, отражающие общепринятые представления о соответствии значений индикаторов наименованиям этих термов. Каждый из реальных кластеров сравнивается с "идеальными" и в зависимости от его расположения наименование будет соответствовать либо одному из заданных термов, либо новому, сгенерированному с использованием модификаторов "между", "ближе к", "очень", "ниже", "выше" и др.

Для задания идеальных кластеров O_m^I, $m = \overline{1, M}$ будем использовать n-мерное пространство значений в интервале [0, 1], где n — количество индикаторов, по которым выполняется кластеризация, т. е. $n = |E^i|$, $E^i = \{e_j | f_i R^{FE} e_j\}$. Их количество равно мощности базового терм-множества. Эти кластеры изначально задаются в виде гиперсфер, располагающихся на диагонали заданной системы координат. Такое расположение обусловлено тем, что значения индикаторов, характеризующих один и тот же фактор, интерпретируются одинаково: чем выше значение, тем выше оценка соответствующего фактора. Использование гиперсфер предполагает нормирование значений факторов. Кластеры можно расположить равномерно. Например, координаты центров кластеров можно получить, разделив интервал [0, 1] на $M + 1$ интервалов. Радиусы можно выбрать так, чтобы идеальные сферы перекрывали друг друга.

На рис. 1 границы гиперсфер, соответствующих трем "идеальным" кластерам, заданным в двумерном пространстве, и соответствующим трем базовым термам "низкий", "средний", "высокий", отмечены пунктиром.

Идеальным кластерам сопоставляются термы из базового терм-множества. Кластеру, находящемуся ближе всего к началу координат соответствует терм с наименьшим рангом, следующему — терм с рангом на единицу больше и т. д. Реальные кластеры на рисунке показаны заштрихованными гиперэллипсами.

Чтобы сопоставить некоторому реальному кластеру O_l^R базовый или новый терм, нужно определить коэффициент пересечения с каждым из идеальных кластеров O_m^I по формуле: $p_{lm} = \dfrac{k_{lm}}{k_l}$,

где k_{lm} — количество точек реального кластера O_l^R,

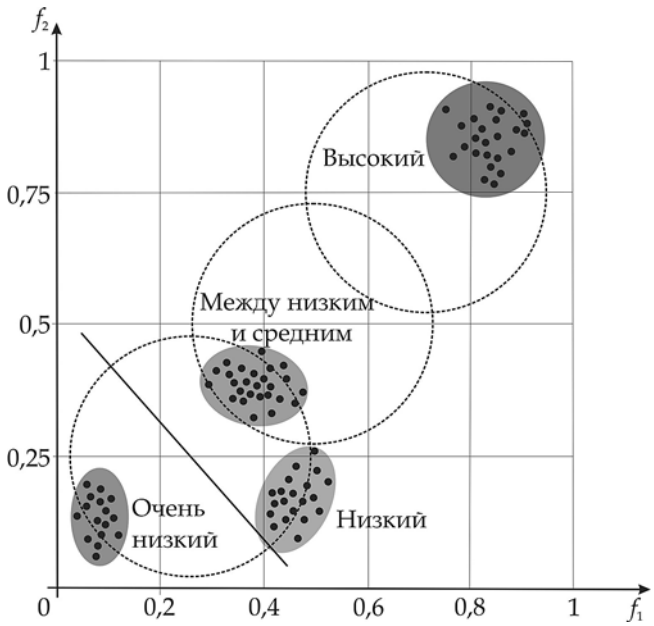


Рис. 1. Пример расположения идеальных и реальных кластеров

попавших в границы идеального кластера O_m^1, k_l — общее количество точек в реальном кластере O_l^R. Если p_{lm} меньше некоторого порога ε, то коэффициент обнуляется, исключая тем самым из рассмотрения незначимое пересечение.

Если имеется только один идеальный кластер O_1^I, коэффициент пересечения с которым не равен нулю ($p_{l1} > 0$) и никакие другие реальные кластеры в него не попадают, то в качестве наименования для O_l^R используется терм T_1, соответствующий O_1^I.

Рассмотрим случай, когда имеется два идеальных кластера O_1^I и O_2^I, с которыми реальный кластер имеет пересечения. Если при этом $|p_{l1} - p_{l2}| < \varepsilon$, то генерируется новый терм T', имеющий наименование "между <T_1> и <T_2>", где T_1, T_2 — термы, сопоставленные O_1^I и O_2^I. Иначе проверяется, какой из коэффициентов пересечения больше. Если $p_{l1} > p_{l2}$, то T' будет иметь наименование "ближе к <T_1>", если $p_{l2} > p_{l1}$, то — "ближе к <T_2>".

В случае, если реальный кластер полностью охватывает оба идеальных, можно использовать наименование "<T_1> и <T_2>" или "не <T_3>".

Если количество идеальных кластеров, с которыми исследуемый кластер имеет пересечения, больше двух, то рекомендуется поменять параметры кластеризации таким образом, чтобы разбиение осуществлялось на более мелкие кластеры.

Для того, чтобы реальные кластеры не получали одинаковые наименования, в ситуации, когда несколько реальных кластеров попадает в границы одного и того же идеального кластера O_1^I, проводится процедура его разбиения. Сфера кластера O_1^I делится на две равные части плоскостью, проходящей через центр сферы и перпендикулярной диагонали системы координат (см. рис. 1). При подборе наименования для кластера O_l^R подсчитываются коэффициенты p_{l1-1} и p_{l1-2} пересечения с каждой из получившихся полусфер идеального кластера (коэффициент p_{l1-1} соответствует нижней полусфере, p_{l1-2} — верхней). В случае, когда идеальный кластер O_1^I является самым близким к центру координат, то либо генерируется новый терм T' с наименованием "очень <T_1>" (если $p_{l1-1} > p_{l1-2}$), либо используется терм T_1 без модификатора (если $p_{l1-2} > p_{l1-1}$). В случае, когда идеальный кластер O_1^I является самым удалённым от центра координат, то, наоборот, при $p_{l1-1} > p_{l1-2}$ используется терм T_1 без модификатора, при $p_{l1-2} > p_{l1-1}$ генерируется новый терм T' с наименованием "очень <T_1>". Если кластер занимает промежуточную позицию, то реальному кластеру сопоставляется новый терм, имеющий наименование "ниже, чем <T_1>" (при $p_{l1-1} > p_{l1-2}$) или "выше, чем <T_1>" (при $p_{l1-2} > p_{l1-1}$).

Может сложиться ситуация, когда реальный кластер не попал в границы ни одного из идеальных кластеров, например, по одному измерению точки попадают в проекцию одного идеального кластера, по другому измерению — в проекцию другого. Это свидетельствует о том, что индикаторы подобраны не совсем удачно. Можно при нахождении коэффициентов пересечения с идеальными кластерами учесть коэффициенты соответствия индикаторов фактору. В этом случае сначала определяются коэффициенты пересечения отдельно по каждому индикатору: $p_{lmj} = \dfrac{k_{lmj}}{k_l}$,

где k_{lm} — количество точек реального кластера O_l^R, попавших в границы идеального кластера O_m^I по j-му измерению. Коэффициент p_{lm} находится как взвешенное среднее коэффициентов p_{lmj}, $j = \overline{1, n}$, используя в качестве весов нормированные коэффициенты соответствия: $p_{lm} = \sum_{j=1}^{n} v_j p_{lmj}$, где $v_j = a_j / \sum_j a_j$, a_j — коэффициент соответствия индикатора e_j оцениваемому фактору.

Пример генерирования наименований кластеров. Для наглядного представления результатов работы метода нами были исследованы данные по среднесуточной температуре ***T*** и среднесуточному комфорту ***C*** (субъективному ощущению погоды с точки зрения человека) в январе 2014 года для административных центров субъектов Российской Федерации, полученные с информационного ресурса "Погода и климат" [6] с целью формирования кластеров по фактору "Погодные условия". Значения индикаторов для оцениваемых территориальных образований, а также прямая регрессии климатических характеристик даны на рисунке 2. Коэффициент линейной регрессии между нормированными значениями индикаторов составил 0,967, что говорит о сильной взаимосвязи данных.

Поиск оптимальной нечёткой кластеризации проводился перезапуском алгоритма нечёткой кластеризации Густаффсона—Кесселя при различных значениях количества кластеров L (количество запусков — 20 раз). Анализ качества полученного решения выполнялся с помощью

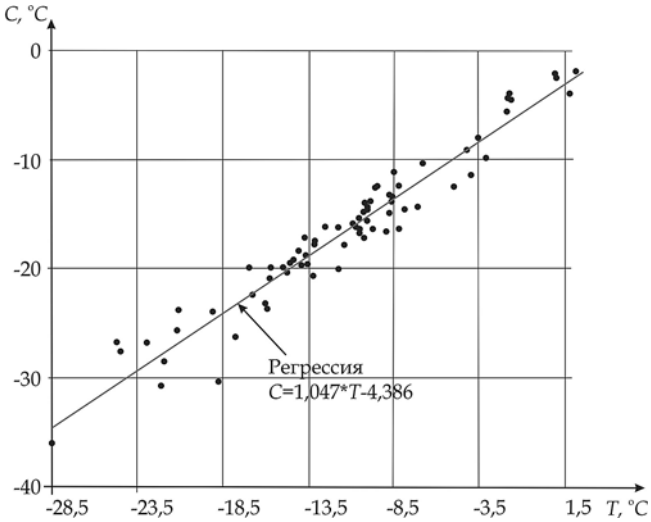


Рис. 2. Значения средней температуры и среднего комфорта в январе 2014 года в административных центрах субъектов Российской Федерации

Таблица 1

Оценка качества кластеризации индексом Силуэта

Количество нечётких кластеров L	Значение индекса Силуэта
3	0,745
4	0,741
5	0,667
6	0,640

индекса Силуэта [7], который был модифицирован для обработки нечётких данных. При вычислении индекса Силуэта вектор считался принадлежащим кластеру, если его степень принадлежности к этому кластеру была самой высокой среди всех степеней принадлежностей ко всем кластерам. В этом случае нечёткая кластеризация оценивается как чёткая. В процессе решения задачи величина L изменялась от 3 до 6, значения индекса оценки Силуэта для кластеризации с наибольшим значением последнего представлены в таблице 1.

Из табл. 1 следует, что при $L = 3$ и $L = 4$ нечёткие кластеризации обладают лучшим сочетанием критериев компактности точек внутри кластеров и удаленностью кластеров друг от друга. Чтобы показать работу алгоритма с бóльшим числом нечётких кластеров, для последующего анализа было выбрано $L = 4$, а число идеальных кластеров $M = 3$.

На рис. 3 приведён вариант нечёткой кластеризации при $L = 4$. Здесь векторы с наибольшей степенью принадлежности к определённому кластеру представлены одной и той же геометрической фигурой (к кластеру *FC*1 — квадратами, к кластеру *FC*2 — кругами, к кластеру *FC*3 — звездочками, к кластеру *FC*4 — пятиугольниками).

На рисунке видно, каким образом происходит наложение идеальных и реальных кластеров, и что в общем случае их границы не совпадают. В табл. 2 представлены значения коэффициентов пересечения реальных и идеальных кластеров.

Таблица 2

Коэффициенты пересечения реальных и идеальных кластеров

	*FC*1	*FC*2	*FC*3	*FC*4
*PC*1	0	0	0,182	0,818
*PC*2	0	0,5	0,5	0
*PC*3	0,44	0,56	0	0

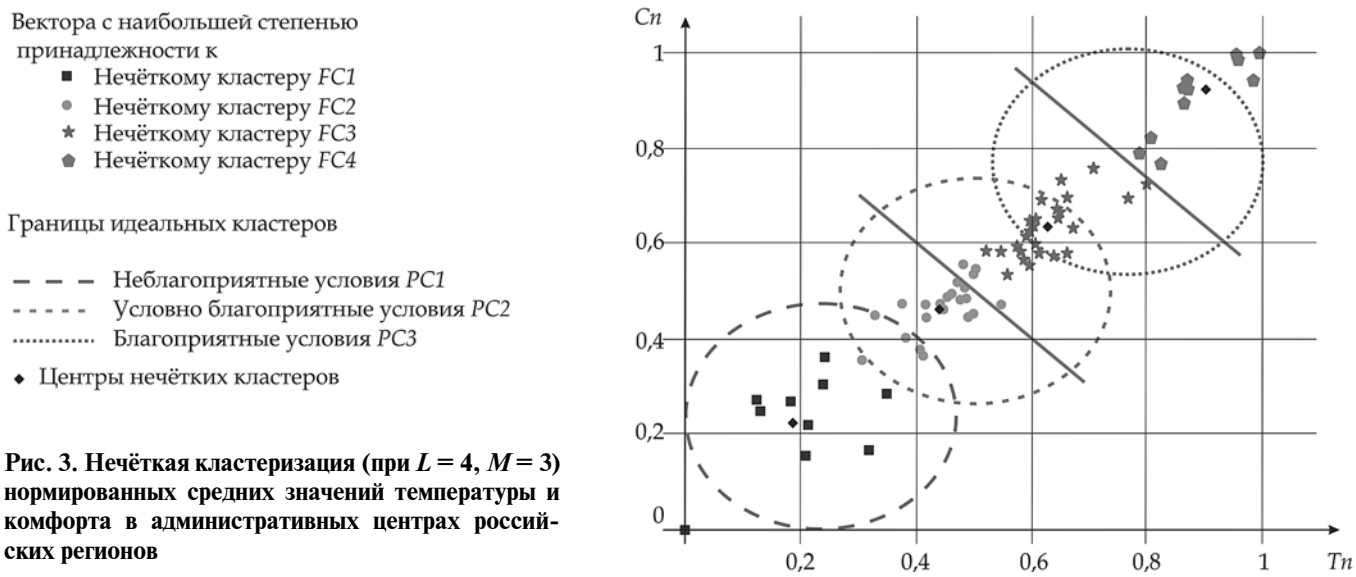


Рис. 3. Нечёткая кластеризация (при $L = 4$, $M = 3$) нормированных средних значений температуры и комфорта в административных центрах российских регионов

Для базовых термов лингвистической переменной "Погодные условия", соответствующих идеальным кластерам, были предложены следующие наименования: "*благоприятные*" (*PC*3), "*условно благоприятные*" (*PC*2), "*неблагоприятные*" (*PC*1). Терм, сопоставляемый реальному кластеру *FC*1, получает наименование "*благоприятные*", совпадающее с наименованием идеального кластера *PC*3, так как кластер *FC*1 попадает только в *PC*3. Для наименования кластера *FC*2 генерируется новый терм с наименованием "между <*благоприятные*> и <*условно благоприятные*>" и так как *FC*2 пересекается с двумя идеальными кластерами — *PC*2 и *PC*3, причём коэффициенты пересечения приблизительно равны. Кластер *FC*3 тоже пересекается с двумя кластерами — *PC*1 и *PC*2, но коэффициент пересечения с *PC*2 значительно больше, поэтому генерируется терм с наименованием "ближе к <*условно благоприятные*>". Кластеру *FC*4 сопоставляется терм "*неблагоприятные*", совпадающий с наименованием идеального кластера *PC*1, так как только с ним у *FC*4 имеется пересечение.

На рис. 4 показана картограмма, отражающая полученное распределение кластеров адми-

Рис. 4. Картограмма распределения кластеров

нистративных центров субъектов Российской Федерации по фактору "Погодные условия".

Заключение. Рассмотренный метод позволяет автоматизировать процесс наименования нечётких кластеров в зависимости от распределения анализируемых векторов и представлять результаты в виде, интуитивно понятном пользователю информационных систем. Использование разного количества идеальных кластеров, равно как и варьирование области их перекрытия, позволяет сделать метод более гибким, учитывая таким образом специфику предметной области.

Работа выполнена при финансовой поддержке гранта Российского фонда фундаментальных исследований № 13-07-00397А.

Библиографические ссылки

1. **Иванченко О.Г., Голованова Л.А.** Методические положения зонирования территории регионов по признакам энергосбережения // Вестник ТОГУ. 2008. № 2 (9). С. 57—68.

2. **Лебедев Ю.А., Летягина Е.Н., Сидоренко Ю.А.** К вопросу об оценке энергоэффективности регионов // Управление экономическими системами: электронный научный журнал. 2012. URL: http://uecs.ru/uecs40-402012/item/1273-2012-04-21-05-34-08 (дата обращения: 13.04.2014).

3. **Силич М.П., Силич В.А., Аксенов С.В., Ахмедов В.С.** Оценка ситуации с энергетической эффективностью в муниципальных образованиях на основе диаграммы влияния факторов // Энергобезопасность и энергосбережение. 2012. № 3. С. 9—14.

4. **Силич М.П., Силич В.А., Аксенов С.В.** Анализ энергетической эффективности территорий на основе иерархии гибридных когнитивных карт // Известия Томского политехнического университета. 2013. № 5 (323). С. 26—31.

5. **Hoeppner F., Klawonn F., Kruse R., Runkler T.** Fuzzy cluster analysis: method for classification, data analysis, and image recognition. N.Y.: John Wiley & Sons, Inc., 1999. 300 p.

6. **Погода** и климат. Архивы погоды. URL: http://pogodaiklimat.ru/archive.php (дата обращения 03.04.2014).

7. **Вятченин Д.А.** Нечёткие методы автоматической классификации. Минск: Технопринт, 2004. 219 с.

УДК 621.9.06.004

В.В. Ерохин, д-р техн. наук, **Е.В. Елисеева,** канд. пед. наук
(Брянский государственный университет им. И.Г. Петровского)
erohinvv@mail.ru

CAD/CAM/CAE-ТЕХНОЛОГИИ В МОДЕЛИРОВАНИИ ТЕХНИЧЕСКИХ ОБЪЕКТОВ

Рассмотрена методика применения CAD/CAM/CAE-технологии в моделировании технических объектов. Приведены примеры использования инженерных расчётов при построении изделий, а также их отработка с использованием CAE-систем.

Ключевые слова: твёрдотельное моделирование, CAD/CAM/CAE-технологии, качество.

The application methodology of CAD/CAM/CAE technology in technical objects modeling is considered. Examples of engineering calculations application at products creation, and also calculations with use of CAE systems are adduced.

Key words: solid-state modeling, CAD/CAM/CAE technology, quality.

На промышленных предприятиях накоплен большой опыт автоматизации локальных служб конструкторских и технологических подразделений. Несмотря на ограниченное применение средств САПР в реальной работе, результат очевиден — уровень владения новыми технологиями, знание различных прикладных систем, приобретённый реальный опыт работы плюс сотни (тысячи) разработанных чертежей, управляющих программ, моделей и т. п. Практически на каждом предприятии используются инфокоммуникационные сети, ширится применение телекоммуникационных технологий, автоматизированные системы проектирования постепенно становятся обычным и привычным инструментом конструктора и технолога. В условиях, когда сроки выполнения задания являются основным требованием заказчика, конкурентоспособное предприятие немыслимо без соответствующих средств автоматизации. Поэтому применение современных систем моделирования (CAD/CAM/CAE-технологии) различных машиностроительных объектов, процессов их изготовления и технических расчётов позволяет на более высоком

уровне подходить к процессам формирования конструкций технологической оснастки.

Использование CAD-систем среднего и высокого уровня, таких как CIMATRON, SolidWorks, TflexCAD, позволяет быстро и наглядно построить твёрдотельную модель технического объекта любой степени сложности с её размерной параметризацией и параметризацией механических, физических и химических свойств. Параметризация позволяет создать одну базовую конструкцию, в которой при изменении определённых размеров и свойств меняется конструктивная форма, размеры и свойства. В связи с этим нет необходимости создавать большие электронные базы данных всей номенклатуры технических объектов. Возможно построение гибридных моделей, выполнение булевых операций над твёрдотельными объектами и поверхностями. Модели деталей и сборочных единиц можно объединить в конструктивную сборку изделия. Любые изменения, выполненные над редактируемой моделью (деталью), отразятся во всех конструктивных сборках изделия, содержащих этот объект. Это позволяет быстро и качественно подбирать определённые компоновки технических объектов с наименьшими затратами времени и потерями данных, а также упростить алгоритмы поиска оптимальных решений конструктивного моделирования с определёнными техническими и механическими параметрами.

В современных CAD/CAM/CAE-системах осуществляются следующие этапы проектирования:

выбор типа и места расположения установочных элементов приспособления;

назначение конструктором схемы закрепления;

выбор типов и точки приложения элементов зажимного механизма и точек приложения сил закрепления;

расчёт пластических деформаций в зоне контакта установочного элемента и базовой поверхности заготовки;

определение погрешности закрепления;

определение размерного износа установочных элементов;

формирование конструкции и компоновки технического объекта в целом;

определение температурных деформаций;

формирование рабочих чертежей;

реалистичное моделирование деталей из листового материала, включающее получение заготовки и возможность конструирования в плоском состоянии;

моделирование сборочных единиц, включающее: возможность ведения процесса проектирования в соответствии с поставленными целями; динамичность движения сборочной единицы за счёт уникальных возможностей визуализации; правдоподобные сборочные примитивы для создания точной конструкции сборочной единицы; инструменты управления сборкой, которые улучшают представление объекта; возможность повторного использования уже существующих конструкций для снижения усилий, затрачиваемых на проектирование; наглядность и высокую степень детализации.

Детали или модели выбираются импортированием в сборочную единицу ранее созданного или типового (из базы данных) элемента. Данные системы позволяют создать базы данных твёрдотельных моделей деталей и чертежей, в которые могут закладываться конструктивные элементы технического объекта, а также их типовые конструкции. Возможность создания твёрдотельной модели в контексте сборки позволяет легко и быстро создавать совершенно новые нестандартные решения технических объектов и проводить над ними имитационное моделирование различного назначения.

В связи с тем, что основной единицей конструкторской документации является чертёж, выходным параметром проектирования должен быть параметризованный чертёж сборки технического объекта. CAM-технологии (WorksCAM) позволяют получить значения составляющих сил резания, которые с помощью макросов (или дополнительного программного обеспечения связи CAD с CAM-системами) связаны с таблицей параметров сил резания, находящейся в технических требованиях чертежа поводкового патрона. В зависимости от параметров составляющих силы резания происходит параметризация конструкций поводковых элементов и тарельчатых пружин, осуществляющаяся двумя способами. Первый математически формализует зависимость их конструктивных параметров от составляющих силы резания. При втором способе конструктивные характеристики проектируемых элементов выбираются из реляционных баз данных (в конкретном случае составлены Excel-таблицы) в зависимости от величины силы резания. Первый способ более трудоёмкий, так как требует написания дополнительных макросов, осуществляющих расчёт параметров по уравнениям, но этот способ рационален, так как учитываются все конструктивные, физико-механические свой-

ства элемента. Второй способ более удобен в связи с адаптацией CAD-систем в работе с реляционными базами данных, в которых представлены ряды стандартизованных элементов, что повышает уровень унификации не только конструкторской, но и технологической подготовки производства. В зависимости от параметров заготовки происходит параметризация остальных составляющих деталей конструкции станочного приспособления. Взаимосвязь изменений деталей описывается с помощью булевых функций, что предотвращает пересечение объектов, взаимозависимых от двух независимых характеристик параметрического преобразования — характеристик заготовки и составляющих силы резания.

Для автоматизированного проектирования технических объектов необходимо создавать дополнительные программные модули в CAD-системах на основе их внутренних языков программирования. На первом этапе должны быть созданы специализированные базы данных, например, парка металлорежущих станков, элементов станочных приспособлений и др. Второй этап заключается в написании программных модулей или макросов для реализации следующих этапов проектирования:

распознание поверхностей твёрдотельной модели деталей технического объекта по условию базирования деталей (шесть степеней свободы). Выбираются один или несколько вариантов комплектов поверхностей заготовки, которые включают установочную, направляющую (двойную опорную) и опорную базовые поверхности или двойную направляющую опорную и опорную (двойную направляющую и направляющую) базовые поверхности;

для конкретного комплекта сочетания форм базовых поверхностей выбираются схемы установки деталей при сборке технического объекта;

отбираются схемы установки деталей при сборке технического объекта по следующим правилам: возможность гарантированного закрепления детали; обеспечение требуемой точности сборки; минимальное время при сборке технического объекта; минимальная величина погрешности базирования деталей при сборке технического объекта; минимальная себестоимость изготовления или сборки технического объекта;

расчёт силы закрепления по известным величинам и местоположениям сил и моментов резания. Выбор типа зажимного устройства и силового механизма;

компоновка технического объекта на корпусные детали или сборочные единицы, исходя из соблюдения условий минимальной погрешности установки и себестоимости. Конструирование осуществляется на основе баз данных — прижимных деталей и сборочных единиц; крепёжных деталей; сборочных единиц, необходимых для базирования или совместного базирования и закрепления деталей;

выбор базовой детали или сборочной единицы;

осуществление общей компоновки технического объекта;

при компоновке нескольких технических объектов одной номенклатуры, но с различными размерами или физико-механическими свойствами необходимо предусмотреть критерии: минимального количества сборочных единиц или деталей для каждой группы деталей, входящих в конструктивную сборку изделия; минимальное время, затрачиваемое на сборку технического объекта.

CAD-системы на основе твёрдотельного моделирования обеспечивают генерацию сеток конечных элементов для последующего инженерного анализа в CAE-системах (CosmosWorks, NASTRAN, Moldflow и т. д.). Это позволяет провести ряд конструкторских и технологических расчётов: пластических деформаций в зоне контакта деталей, температурных деформаций на основе механических, термических и химических свойств рассматриваемой системы изготовления и эксплуатации изделия; обеспечить заданные требования к качеству изготавливаемого изделия, используя эксплуатационные и конструктивные характеристики проектируемой оснастки.

Например, расчёт межремонтного периода эксплуатации технического объекта может быть определён по представленной ниже методике:

в CAM-системе разрабатывается технологический процесс обработки заготовки. С использованием промежуточного программного обеспечения, связывающего CAD и CAM-системы, в CAD-систему передаются параметры технологической системы: жёсткость, виброустойчивость станка, режимы резания, градиенты направления и величины сил резания, базовые поверхности заготовки и т. д.;

CAD-система для рассматриваемого технологического процесса выбирает или конструирует компоновку технического объекта в режиме параметризации его базовых размеров и свойств, удовлетворяющих условиям обработки заготовки;

выбираются поверхности твёрдотельных моделей технического объекта, влияющие на точность и характер процесса формообразования поверхностей заготовки;

конвертирование выбранных поверхностей технического объекта в CAE-систему с заданными механическими параметрами и параметрами технологической системы;

разбивка рассматриваемых поверхностей на элементы. При износе поверхностей нет смысла проводить поэлементную сегментацию всего объёма примитива. Задаваясь конкретными размерными параметрами допустимого износа, можно на несколько порядков уменьшить количество и размер (величина равной шероховатости рассматриваемой поверхности) конечных элементов, что позволит увеличить точность расчётов;

расчёт величины износа анализируемой поверхности. Алгоритмы расчётов и математическая формализация процесса формообразования изнашиваемой поверхности должны обязательно учитывать вероятностное поле рассеивания градиента и направления действия внешних сил на исследуемую поверхность.

Наиболее оптимальные значения износа, близкие к экспериментальным данным, получают при конечно-элементном анализе на основе энергетического баланса подводимой и расходуемой энергии (Ильицкий В.Б., Ерохин В.В., Вдовин А.В. Автоматизация проектирования технологической оснастки // Вестник Житомирского инженерно-технологического института. Технические науки. Житомир: ЖИТИ, 2001. С. 92—98). К поверхности раздела двух динамически контактируемых объектов подводится определённое количество тепловой, механической и химической энергии (см. рисунок) вследствие трения, движения и химического взаимодействия как между собой, так и промежуточными средами (воздух, СОТС и т. д.). Каждому узлу в случайной последовательности (функция "Randomize") присваивается определённая энергия разрыва связи, которая зависит от механических, физических, конструкционных и химических свойств рассматриваемого примитива, а также от их градиента (если он известен) и поля рассеивания. Все конечные элементы описаны математическими зависимостями передачи и потребления различных видов энергий, их взаимодействиями и влияниями на вышеприведённые свойства. Как только энергия узла становится равной или большей энергии его разрыва элемент выходит из узла и остается незамкнутым (см. рисунок, *б*). Динамический рост незамкнутых элементов в направлении поверхности контакта двух объектов может привести к отрыву некоторых объёмных областей контактирующей поверхности (см. рисунок, *в*).

Однако в данной математической формализации износа поверхности трудно учесть повторное наслоение продуктов износа на изнашиваемую поверхность, вследствие сложного распределения внешнего энергетического воздействия с электростатическими взаимодействиями поверхности (шероховатости) под действием переменных внешних сил на контакт рассматриваемых тел.

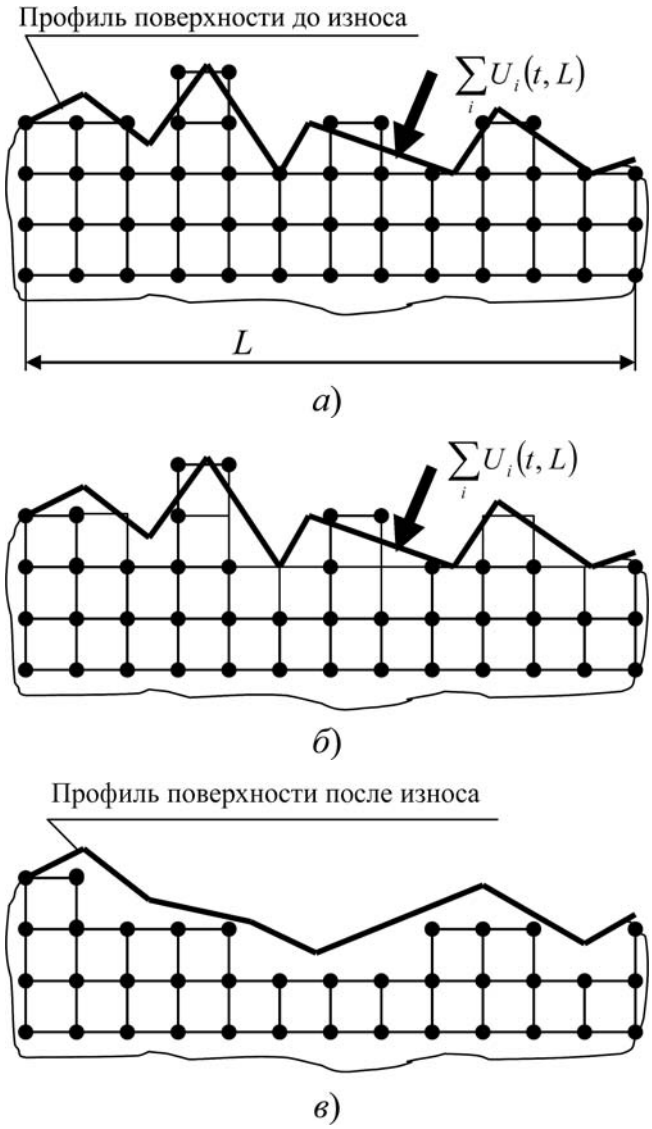


Схема износа поверхности:
а — энергия узлов меньше энергии их разрыва; *б* — энергия узлов равна или больше энергий их разрыва; *в* — моделируемая поверхность после износа; $\sum U_i(t, L)$ — сумма *i*-х видов подводимых энергий к поверхности; L — длина поверхности, воспринимающей подводимую энергию; t — время

По спроектированной твёрдотельной модели приспособления генерируется сборочный чертёж, чертежи деталей и спецификации. Генерация видов, разрезов, сечений, размеров и спецификаций проводится автоматически из твёрдотельной модели.

Наиболее эффективно системы CAD можно использовать для формирования документооборота в конструкторско-технологических отделах. Весь комплект чертежей изделия может быть представлен в виде электронной твёрдотельной модели, которая детализируется на необходимое количество рабочих чертежей, отображающихся на экране дисплея в соответствии с требованиями ЕСКД. Это позволяет быстро и качественно обрабатывать конструкторско-технологическую документацию, а также осуществить реализацию идеи о формировании единой базовой системы документооборота на производстве и в отрасли.

Методика твёрдотельного проектирования успешно реализована в решении задачи выбора рациональной схемы базирования деталей при сборке технического объекта. Эта сложная и многокритериальная задача, требующая автоматического анализа форм базовых поверхностей, их пространственного расположения по отношению друг к другу, а также получения данных о точности и качестве базовых поверхностей заготовки.

Основу автоматизированной системы составляет схема, систематизирующая все возможные встречающиеся в практике схемы базирования по назначению, сочетанию форм базовых поверхностей, геометрии заготовки и точности её расположения в приспособлении. Для формирования списка возможных схем базирования заготовки важным моментом является геометрический анализ заготовки, так как большое влияние на выбор оказывают геометрические особенности (например, наличие литейных или штамповочных уклонов) базовых поверхностей и их расположение по отношению друг к другу. Все указанные геометрические параметры заготовки содержит ее трёхмерная модель, поэтому применение твёрдотельного моделирования позволяет решить задачу автоматического выбора схем базирования, исходя из геометрических особенностей заготовки. Основным критерием выбора схем базирования является условие точности, связывающее допуск на выполняемый размер и погрешность базирования заготовки в приспособлении. При автоматизации этого этапа важным является возможность автоматического ввода размерных характеристик заготовки (допуски на выполняемые размеры, размеры базовых поверхностей, и размеров, определяющих расположение баз относительно друг друга).

Конструктивная реализация выбранной схемы базирования включает выбор мест расположения установочных элементов, определение их конструкции и размеров, при этом рассчитываются реакции опор, величины пластических и упругих деформаций в зоне контакта установочного элемента и заготовки, размерный износ опор. Для расчёта значений реакций опор необходимо назначить схему закрепления, включающую расположение установочных элементов, точки приложения и направление сил зажима и сил резания. Ввод конструктором таких данных в диалоговом режиме или с плоского чертежа является долгой и сложной задачей, поэтому использование трёхмерной модели ориентации заготовки в приспособлении позволит пользователю быстро назначить схему закрепления, а автоматизированной системе автоматически получить необходимые сведения для расчёта сил зажима и реакций опор.

Полностью интегрированные в систему CAD приложения пользователя имеют прямой доступ ко всем функциям данной системы по созданию, геометрическому и физико-химическому анализу твёрдотельных моделей деталей и сборок, а также формированию конструкторской и технологической документации. Эти приложения позволят автоматически решать те задачи, которые радикально влияют на качество проектируемого технического объекта, но не могут быть решены стандартными модулями систем CAD. Среди этих задач можно выделить: определение рациональной схемы базирования и закрепления; выбор установочных и зажимных элементов; расчёт необходимой силы закрепления; задачи построения оптимальной конфигурации изделия и процессов сборки, обеспечения заданного качества проектируемого объекта и т. д.

Рациональное использование таких технологий является базой развития научно-технической культуры автоматизированного конструирования различных объектов.

ПО СТРАНИЦАМ ЖУРНАЛОВ

Селективные захваты промышленных роботов. *Вестник машиностроения,* 2014, № 1.

Рассмотрены вакуумные, струйные и магнитные селективные захваты промышленных роботов, позволяющие осуществлять подачу и сортировку деталей без предварительной их ориентации относительно заданной системы координат.

Определение степени риска принятия решений о надёжности деталей машин по интервалам расчётных значений их вероятности надёжности. *Вестник машиностроения,* 2014, № 1.

Предложена методика оценки риска при определении вероятностной надёжности деталей машин по интервалу расчётных значений показателей надёжности.

Производительное шлифование сталей алмазными кругами. *Вестник машиностроения,* 2014, № 1.

Исследованы микроструктуры коррозионно-стойких и труднообрабатываемых сталей после шлифования алмазными кругами.

Создание современных функциональных материалов из растительного сырья. *Вестник машиностроения,* 2014, № 1.

Разработана энергосберегающая технология получения модификаций углерода из отходов сельскохозяйственных культур и сфагновых мхов для производства нефтесорбентов и карбидов вольфрама и титана.

Соединение элементов корпусных конструкций давлением. *Вестник машиностроения,* 2014, № 1.

Предложена расчётная модель соединения элементов конструкций давлением в условиях кратковременной ползучести. Расчёты выполнены методом разрывных полей скоростей перемещений.

Машина для безогневой резки труб большого диаметра. *Вестник машиностроения,* 2014, № 1.

Представлена новая конструкция машины для безогневой резки труб высокой надёжности и безопасности при ремонте нефтепроводов, которая обеспечивает резку трубы за один проход.

Электродиффузия в тонкоплёночных структурах металлоподобных соединений. *Наноинженерия.* 2014. № 1.

Рассмотрены процессы электродиффузии в тонких плёнках. Проанализировано влияние структуры плёнок на электромиграционные процессы. Определены пути повышения стабильности тонкопленочных структур металлоподобных соединений.

Моделирование кинетики вольт-амперных характеристик AlAs—GaAs резонансно-туннельных диодов в результате диффузионных процессов в его структуре. *Наноинженерия.* 2014. № 1.

Разработан программно-расчётный комплекс dif2RTD для проведения математического моделирования диффузионных процессов в AlAs—GaAs наногетероструктурах и вольт-амперных характеристик РТД на базе данных гетероструктур. Данный программно-расчётный комплекс может использоваться при оценке и прогнозировании надёжности AlAs—GaAs РТД и нелинейных преобразователей радиосигналов (смесителей, детекторов и др.) на их основе.

Нанодисперсии винилированных алкидных олигомеров. *Наноинженерия.* 2014. № 1.

Разработана технология получения нанодисперсий — водных дисперсий винилированных алкидных олигомеров. Такие дисперсии при высыхании образуют пленки с высокими технологическими показателями. Данная дисперсия имеет размер частиц 50...70 нм.

Цифровое управление сварочным процессом. *Наукоёмкие технологии в машиностроении.* 2014. № 1.

Рассмотрены новые способы цифрового управления процессами дуговой механизированной сварки, реализованные на основе современного инверторного источника.

Влияние условий алмазного выглаживания на качество поверхности отверстий. *Наукоёмкие технологии в машиностроении.* 2014. № 1.

Разработана методика проведения экспериментов для алмазного выглаживания цилиндрических отверстий инструментом упругого действия. Приведены план и результаты проведения эксперимента, получены адекватные экспериментальные зависимости для прогнозирования параметров качества поверхностного слоя в зависимости от режима выглаживания, жёсткости державки инструмента, параметров качества поверхности заготовки.

Анализ вариантов модернизированных орбитальных группировок, обеспечивающих конкурентоспособность системы ГЛОНАСС. *Полёт.* 2014. № 1.

Анализ свойств различных типов орбитальных группировок, проведённый в Информаци-

онно-аналитическом центре координатно-временного и навигационного обеспечения (ИАЦ КВНО) ФГУП "ЦНИИмаш", показал, что для О Г ГЛОНАСС, состоящей из 24 КА, невозможно сохранить высокие характеристики радионавигационного поля на территории России и во всём мире. В статье приведены результаты имитационного моделирования различных вариантов модернизированных орбитальных группировок (ОГ).

Инновационные подходы в процессе создания комплексов с беспилотными летательными аппаратами в России. *Полёт*. 2014. № 1.

Бурное развитие беспилотных систем и рост числа их применений в начале XXI в. стали возможными вследствие реализации инновационных подходов в мировой аэрокосмической отрасли. Создание инновационного кластера по разработке беспилотных систем внутри отечественной авиационной отрасли путём внедрения новых технологий, организационных и экономических подходов способно обеспечить качественный прорыв всей отрасли. Большая территория и низкая загружённость воздушного пространства обуславливают высокую востребованность БЛА в России.

Сличение шкал времени с использованием сигналов ГНСС в режиме Common View с разрешением фазовых неоднозначностей. *Полёт*. 2014. № 1.

Рассматривается метод сличений в режиме Common View с целочисленным разрешением неоднозначностей на различных базовых линиях. Дается описание модели, используемой в обработке, а также процедура фиксации разности неоднозначностей для разности станция—станция. Приведено сравнение результатов сличений в режиме CommonView с результатами, полученными в технологии PPP.

Сборка многофункциональных световых приборов переменной цветности с использованием светодиодов. *Сборка в машиностроении, приборостроении*. 2014. № 1.

Рассмотрены сборка многофункциональных световых приборов и области их применения. Представлена конструкция многофункционального светового прибора переменной цветности на цветных компактных люминесцентных лампах. Описаны устройство и принцип действия многофункционального светового прибора переменной цветности на RGB-светодиодах и приведены результаты измерений электрических, световых и цветовых характеристик.

Моделирование сборочных процессов и систем. *Сборка в машиностроении, приборостроении*. 2014. № 1.

Показано, что математическое моделирование остается основным инструментом исследования сложных технических систем. В основе имитационного моделирования лежат алгоритмы и программы, воспроизводящие работу системы с учётом реальной последовательности протекания во времени элементарных явлений и случайных воздействий на систему. Рассмотрено использование имитационного моделирования для структурного и параметрического синтеза сборочной системы с оптимизацией её по важнейшим параметрам: производительность, надёжность, экономическая эффективность.

Анализ соединений деталей при разработке технологических процессов сборки. *Сборка в машиностроении, приборостроении*. 2014. № 1.

Проведён анализ технических требований, предъявляемых к соединениям деталей при проектировании технологических процессов сборки. Рассмотрены основные виды соединений и особенности их получения.

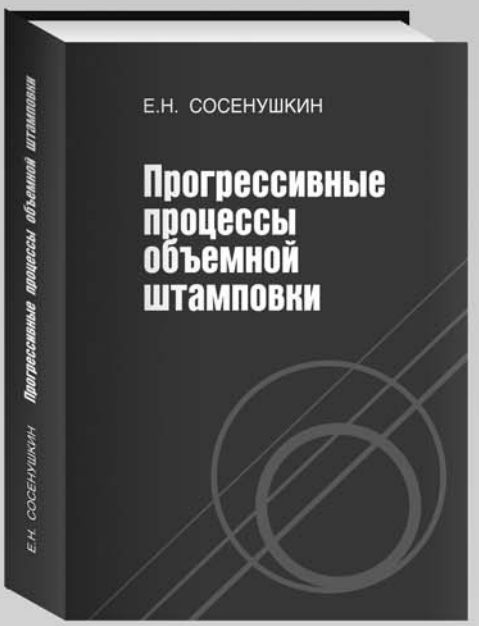
Применение гидропневмоаккумуляторов в горных машинах. *Сборка в машиностроении, приборостроении*. 2014. № 1.

Рассмотрены конструкции горного оборудования как для открытых, так и подземных горных работ, в которых использованы гидропневмоаккумуляторы. Показано, что применение гидропневмоаккумуляторов обеспечивает существенное снижение энергоёмкости рабочих процессов и повышает производительность горных машин — буровых установок, погрузчиков, дробилок, гидромолотов и др.

Вниманию авторов!

Требования к оформлению статей, присылаемых для публикации,

можно найти на сайте **www.mashin.ru**

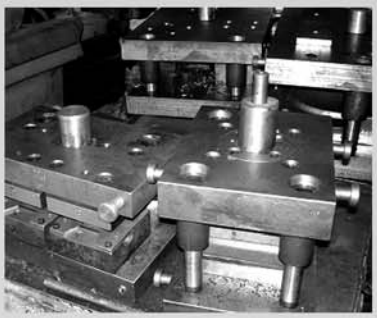


ПРОГРЕССИВНЫЕ ПРОЦЕССЫ ОБЪЕМНОЙ ШТАМПОВКИ

Е.Н. Сосенушкин

2011 г. 480 с. ISBN 978-5-94275-596-6

Цена 600 р.



Освещены концепции проектирования технологических процессов холодной и полугорячей объемной штамповки, системы представления и обработки знаний о деталях, автоматизации решений системных задач проектирования технологии, системного проектирования штамповой оснастки для формоизменяющих операций.

Для разных термомеханических условий и прочих факторов проанализирован ряд физических моделей выхода из строя рабочих деталей штампов, и на основе их математических аналогов построена система прогнозирования стойкости и выбора штамповых материалов.

Для специалистов и инженерно-технических работников, занимающихся разработкой и промышленным внедрением прогрессивных технологий, систем их проектирования и экспертной оценки. Монография будет полезна для аспирантов и студентов машиностроительных вузов.

Приобрести книгу по цене издателя можно, прислав заявку в отдел продаж, маркетинга и рекламы:
по почте: 107076, г. Москва, Стромынский пер., 4; по факсу: (499) 269-48-97; по e-mail: realiz@mashin.ru
Дополнительную информацию можно получить по телефонам: (499) 269-66-00, 269-52-98 и на сайте WWW.MASHIN.RU

ИЗДАТЕЛЬСТВО МАШИНОСТРОЕНИЕ

ТЕХНИЧЕСКАЯ МЕХАНИКА

учебное пособие в 4 кн. Под ред. **Д.В. Чернилевского**

2012 г.
Формат 60x88 1/16
ISBN 978-5-94275-602-4
Цена за комплект из 4 книг 1000 р.

Кн. 1. ТЕОРЕТИЧЕСКАЯ МЕХАНИКА. Н.В. Ладогубец, Э.В. Лузик

Содержит основные положения, формулы и законы, используемые при изучении курса "Теоретическая механика", включая динамику материальной точки и динамику материальной системы и твёрдого тела. Даны алгоритмы решения задач, вопросы для самоконтроля и тестовые задания.

Кн. 2. СОПРОТИВЛЕНИЕ МАТЕРИАЛОВ. В.В. Астанин

Изложены основные вопросы расчётов на прочность элементов машин и сооружений Приведены примеры решения типовых задач на растяжение и сжатие, сдвиг, кручение, изгиб, сложное сопротивление, повторно-переменные и динамические нагрузки.

Кн. 3. ОСНОВЫ ТЕОРИИ МЕХАНИЗМОВ И МАШИН. Я.Т. Киницкий

Изложены основные понятия и определения курса, структура и классификация механизмов и машин, общие методы кинематического и динамического исследования механизмов, приведены некоторые сведения из теории регулирования движения машин и уравновешивания механизмов.

Кн. 4. ДЕТАЛИ МАШИН И ОСНОВЫ ПРОЕКТИРОВАНИЯ. Д.В. Чернилевский

Изложены основные сведения о технологических функциях механизмов, их кинематических и силовых возможностях, достоинствах и недостатках, позволяющих технологу производственных процессов провести анализ и синтез при принятии решения в процессе разработки технического задания на совершенствование существующих конструкций машин или вновь проектируемых машинных комплексов.

Для студентов высших технических учебных заведений, изучающих курсы "Сопротивление материалов" и "Техническая и прикладная механика".

Приобрести книгу в издательстве можно, прислав заявку:

по почте: 107076, г. Москва, Стромынский пер., 4; по факсу: (499) 269-48-97; по e-mail: realiz@mashin.ru
Дополнительная информация по телефонам: (499) 269-52-98, 269-66-00 и на сайте WWW.MASHIN.RU