Автоматизация. Современные Технологии

ЕЖЕМЕСЯЧНЫЙ МЕЖОТРАСЛЕВОЙ НАУЧНО-ТЕХНИЧЕСКИЙ ЖУРНАЛ

ИЗДАЁТСЯ С 1947 ГОДА

Том 71
12
2017

УЧРЕДИТЕЛЬ:

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

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

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

ООО «Издательство
"Инновационное машиностроение"»

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

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

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

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

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

© Издательство «Инновационное машиностроение», «Автоматизация. Современные технологии», 2017

СОДЕРЖАНИЕ

АВТОМАТИЗАЦИЯ НАУЧНО-ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИХ И ПРОИЗВОДСТВЕННЫХ ПРОЦЕССОВ

Ванцов С.В., Халявина А.А. Сложные электронные устройства: возможность автоматизации диагностирования 531

Кузин Е.К., Сульдин С.П., Митин Э.В., Митина А.Э. Расчёт на прочность легкового прицепа общего назначения, загруженного штабельным грузом, при экстренном торможении 537

СОВРЕМЕННЫЕ ТЕХНОЛОГИИ

Микрин Е.А., Филимонов А.В., Зубов Н.Е. Методика оценки вероятности тяжёлого летательного аппарата на потенциально опасный объект в результате авиационной катастрофы 540

Сотникова С.Ю. Метод виртуальных испытаний электронных средств на основе автоматизированного моделирования . . . 546

Григорьев-Фридман С.Н. Применение лазерного диода в мобильной атмосферной лазерной связи 552

ИНФОРМАЦИОННЫЕ ТЕХНОЛОГИИ

Артюхов В.В., Сакулин С.А., Алфимцев А.Н. Формальная оценка изменений удобства веб-страниц на примере интернет-магазина OZON.RU 560

СИСТЕМЫ И ПРИБОРЫ УПРАВЛЕНИЯ

Буренин В.В., Кириллов Н.П., Зорин В.А., Сова А.Н. Новые шестерённые насосы для объёмного гидропривода и систем гидроавтоматики машин и механизмов 567

Указатель статей, опубликованных в журнале «Автоматизация. Современные технологии» в 2017 г. 572

CONTENTS

AUTOMATION OF SCIENTIFIC-RESEARCH AND PRODUCTION PROCESSES

Vantsov S.V., Khalyavina A.A. Sophisticated electronic devices: the ability of diagnosis automation 531

Kuzin E.K., Suldin S.P., Mitin E.V., Mitina A.E. Calculation of the strength of a general purpose trailer loaded with stacked cargo, using finite element models and computer software design tools SolidWorks / Simulation was produced 537

MODERN TECHNOLOGY

Mikrin E.A., Filimonov A.V., Zubov N.E. The probability assessing methodology of a heavy aircraft falling on a potentially a dangerous object as a result of an aircraft catastrophe 540

Sotnikova S.Yu. The virtual testing method of electronic facilities based on automatic modeling 546

Grigorev-Fridman S.N. Application of a laser diode in mobile atmospheric laser communications 552

INFORMATION TECHNOLOGY

Artyukhov V.V., Sakulin S.A., Alfimtsev A.N. Formal assessment of changes in the convenience of web pages on the example of the Internet store OZON.RU 560

SYSTEMS AND CONTROL DEVICES

Burenin V.V., Kirillov N.P., Zorin V.A., Sova A.N. New gear pumps for three dimensional hydraulic drive and hydro-automatics systems for machines and mechanisms 567

Index of articles are published in the journal «Automation. Modern technology» for 2017 572

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

Сдано в набор 28.09.2017.	Отпечатано в ООО «Канцлер»
Подписано в печать 23.11.2017.	150008, г. Ярославль, ул. Клубная, д. 4, кв. 49.
Формат 60 × 88 1/8. Бумага офсетная.	Оригинал-макет: ООО «Адвансед солюшнз».
Усл. печ. л. 5,88. Цена свободная.	119071, г. Москва, Ленинский пр-т, д. 19, стр. 1. Сайт: www.aov.ru

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

© Издательство «Инновационное машиностроение», «Автоматизация. Современные технологии», 2017

УДК 004.7

С.В. Ванцов, канд. техн. наук, **А.А. Халявина**
(Московский авиационный институт (национальный исследовательский университет))
vancov@medpractika.ru

СЛОЖНЫЕ ЭЛЕКТРОННЫЕ УСТРОЙСТВА: ВОЗМОЖНОСТЬ АВТОМАТИЗАЦИИ ДИАГНОСТИРОВАНИЯ

Рассмотрены основные проблемы, возникающие перед разработчиками при решении задачи повышения степени автоматизации процесса контроля и диагностирования сложных электронных устройств. Целью работы является поиск решений, позволяющих снизить трудоёмкость этого процесса и влияние на него человеческого фактора за счёт повышения уровня автоматизации. Проведенный анализ показал, что повышение степени автоматизации контроля и диагностирования сложных электронных устройств зависит от выбора метода, а также степени унификации и формализации используемых решений.

Ключевые слова: диагностирование сложных устройств; автоматизированные системы контроля; алгоритм; система авионики.

The main problems that arise before the developers at solving the problem of increasing the automation degree of the monitoring and diagnosing process for complex electronic devices are considered. The aim of the work is to find solutions that reduce the labor intensity of this process and the human factor influence on it by increasing the automation level. The carried out analysis showed that increasing the automation degree of monitoring and diagnosing complex electronic devices depends on choice of method, as well as the degree of unification and formalization of the used solutions.

Keywords: diagnostics of complex devices; automatic control systems; algorithm; avionics system.

Введение. Рост требований к характеристикам сложных устройств, таким как системы авионики, наряду с бесспорными преимуществами создаёт ряд серьёзных проблем, которые, в первую очередь, связаны с процессами контроля и диагностирования. Рост требований к безопасности таких устройств обусловливает необходимость повышения надёжности как самих устройств, так и контрольно-диагностической аппаратуры. Вопросы поддержания работоспособного состояния систем и диагностирования отказов в кратчайшие сроки до сих пор остаются актуальными.

Поиск решений и методик, обеспечивающих высокую эффективность контроля и диагностирования, — многоуровневый и многофакторный процесс, требующий соответствующего научного и инженерно-технического обеспечения [1]. Однако в настоящее время большинство фундаментальных работ посвящено теории диагностических систем и не рассматривает вопросы её практического применения для решения конкретных технических задач.

Совершенствование систем авионики увеличивает их размерность и структурную сложность, причём рост структурной сложности опережает возможности используемых методов поддержания их в работоспособном состоянии и своевременного обнаружения дефектов. Проведение диагностической процедуры и обработка её результатов очень трудоёмки и зачастую нереализуемы из-за ограничений на вычислительные ресурсы. Это также обусловлено необходимостью учёта множества факторов, присущих системе и влияющих на качество и достоверность получаемых решений [2—4].

С каждой новой модификацией сложных электронных устройств увеличивается их конструктивная сложность. Одновременно усложняются технология производства и трудоёмкость процессов контроля и диагностирования, а также возрастает вероятность влияния случайных факторов (человеческого фактора, окружающей среды и др.). Человеческий фактор приобретает всё большее значение. Он может проявляться различным образом: ошибки разработчиков, сборщиков, технологов, программистов, оператора и др. Этот фактор в отличие от других крайне сложен при формализации и прогнозировании и представляет собой комплекс субъективных событий, которые могут оказать негативное влияние на всех этапах жизненного цикла изделия от разработки до эксплуатации.

Анализ субъективных факторов, влияющих на работоспособность изделия. Укрупненно субъективное влияние человеческого фактора можно подразделить на категории в соответствии с этапами жизненного цикла изделия:

схемотехнические, конструкторско-технологические проявления, которые влекут ошибки при проектировании. Выявляются на этапе настройки и отладки изделия;

конструктивные и компоновочные, обусловленные ошибками выбора материалов и элементов в соответствии с требованиями и условиями применения. Могут быть выявлены как на этапе настройки, так и на этапе эксплуатации изделия;

сборочно-монтажные (дефекты сборки, ошибки электрического монтажа, регулировки и настройки и др.). Выявляются на этапах настройки и отладки, однако могут провоцировать отказы на этапе эксплуатации;

программные (ошибки в программном коде, отсутствие защиты от некорректных действий и др.). Проявляются в виде отказов на всех этапах жизненного цикла изделия;

контрольно-диагностические (недостаточная глубина контроля, отсутствие или малая база диагностических признаков и др.). Проявляются в виде отказов или пропусков аварийного (предаварийного) состояния, а также провоцируют ситуации, связанные с риском для жизни и здоровья персонала;

ошибки оператора, отказы, вызванные некорректными или случайными действиями эксплуатирующего персонала. Могут приводить к выходу аппаратуры из строя и другим опасным для жизни последствиям.

При этом если число ошибок, обусловленных первыми четырьмя категориями влияния человеческого фактора, обратно пропорционально надёжности компонентов и снизить их влияние возможно за счёт использования унифицированных решений и оптимизации процессов производства, то оставшиеся две тесно связаны между собой. Ошибки операторов на этапе эксплуатации прямо пропорционально зависят от полноты контрольно-диагностических баз и степени автоматизации процесса контроля и диагностирования, а также от наличия ограничений на действия операторов.

Задачи автоматизации диагностирования. Контроль и диагностирование сложных электронных устройств — не только один из важных этапов их подготовки к применению, но и неотъемлемая часть эксплуатации. В настоящее время операции контроля и диагностирования входят во все виды обслуживания изделий авионики и по мере их усложнения становятся всё более трудоёмкими.

Автоматическое слежение за аварийными и опасными параметрами и своевременное диагностирование неисправности позволяет предупреждать крупные повреждения и разрушения [5].

Основной целью контроля и диагностирования сложных электронных устройств является обеспечение высокого уровня надёжности и эффективности эксплуатации для удовлетворения требований, предъявляемых к безопасности. При этом системы контроля и диагностирования для каждого нового поколения устройств должны решать все более широкий круг задач, основными из которых являются:

адекватная оценка работоспособности объекта;

фиксация снижения функционирования;

локализация места отказа;

классификация неисправности;

оперативное прерывание процесса контроля и выдача рекомендаций по устранению неисправности;

прогнозирование дальнейшего состояния;

автоматизированное пополнение базы отказов.

На современном этапе развития сложных устройств немаловажной является разработка методов, применение которых обеспечит снижение влияния случайных факторов на протяжении всего жизненного цикла изделия.

Известно, что затраты на поиск и устранение неисправностей на этапе производства составляют 30...50 % от общих затрат на изготовление устройства. В целом затраты, связанные с обнаружением и устранением неисправности на этапе эксплуатации, суммарно 10-кратно возрастают по сравнению с затратами на эти операции на этапе входного контроля. При этом до 50 % от продолжительности диагностических операций занимает время, затрачиваемое на подключение контрольной аппаратуры. На разработку алгоритмического обеспечения и отладку программного обеспечения приходится около 30...40 % от общей трудоёмкости создания диагностического оборудования [6]. Эффективность и трудоёмкость этих операций зависит от совершенства аппаратного, алгоритмического и программного обеспечения, а также контролепригодности конструкции изделия.

В задачах автоматизации контроля выделяют как наиболее важные «технологические» признаки, определяемые методами получения и обработки информации о параметрах, а так-

же «тактические» признаки, уточняющие цели контроля и измерения параметров [7]. Значительная часть параметров объекта может быть проконтролирована непосредственными измерениями. Но некоторые параметры требуют измерения косвенных величин с последующим преобразованием или вообще являются обобщенными и характеризуются рядом признаков.

Применение автоматизированных контрольно-диагностических систем на современном этапе развития сложных электронных устройств не отменяет применения стационарных диагностических средств, но существенно снижает их количество. В современной инженерной практике для решения вопросов контроля широко используются автоматизированные системы контроля (АСК). Однако они в большинстве случаев информируют оператора о неисправностях и отказах в работе узлов и блоков, но не обладают достаточным уровнем защиты от возникновения отказов в результате некорректных действий оператора и не предоставляют решений по возможным действиям по устранению уже возникших неисправностей.

Актуальной тенденцией в настоящее время являются поиск унифицированных решений и создание универсальных контрольно-диагностических систем. Универсальные контрольно-диагностические системы обеспечивают оценку технического состояния различных объектов, контроль большого числа параметров и применение гибких алгоритмов [8].

Современные тенденции контроля и диагностирования сложных устройств. На современном этапе развития систем контроля нередко возникают такие ситуации, когда имеющихся параметров объекта недостаточно для обеспечения заданной глубины диагностики. Основными требованиями к современным контрольно-диагностическим системам являются:

гибкость конструкции, т. е. возможность её надстройки и переналадки;

возможность диагностирования устройств при помощи стационарных средств, имеющих встроенные датчики, и проведения автономного контроля;

работоспособность в любых климатических условиях в течение всего срока эксплуатации (работоспособность в широком диапазоне климатических условий);

отсутствие влияния отказа системы АСК на процесс и результаты контроля;

наличие алгоритмического и программного обеспечения, предоставляющего оператору комплексную информацию для принятия решений.

Реализация этих требований зависит от используемого в системе метода контроля: программного, аппаратного или комбинированного. В последнее время наибольшее распространение получил комбинированный метод. Он позволяет при незначительном снижении эффективности и быстродействия системы существенно сократить время поиска и устранения ошибок, а также общее количество необходимого для этого дополнительного оборудования системы [9].

Использование комбинированного метода позволяет создавать электронные системы, прогнозирующие отказ в работе какого-либо элемента, узла или блока. Для повышения надёжности систем, созданных на основе комбинированного подхода, используются методы унификации технических и типизации проектных решений при создании программных средств.

Комплексные подходы определяют и требования к диагностическим тестам, а именно:

легкость модификации при минимальных трудозатратах;

централизованная разработка и сопровождение в целях увеличения эффективности разработки и снижения трудоёмкости;

выделение блоков, являющихся общими для всех функциональных задач или типовыми для нескольких задач;

использование унифицированных блоков для обеспечения автоматизации основных операций по подготовке, сбору, обработке данных и представлению результатов;

оптимизация выбора параметров, описывающих состояние системы и правила принятия решений, позволяющих с максимальной точностью распознавать отказы;

обеспечение корректности оценки достоверности принятого решения и степени риска ошибочного решения.

При выборе методик диагностирования изделия основной тенденцией является поиск решений, обеспечивающих расширение диагностических баз для повышения эффективности диагностики, и разработка методики выделения групп признаков, позволяющих выявлять те или иные виды неисправностей (отказов), незначительно увеличивая размерность диагностической системы.

Наиболее распространенным методом является метод функциональной (рабочей) диагностики (рис. 1), который используется в процессе работы изделия и ориентирован на анализ процессов формирования стимулирующих рабочих воздействий и оценку соответствующих реакций без учёта искажений

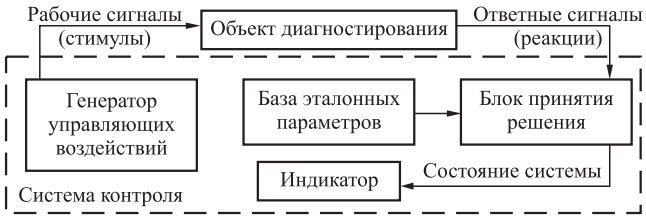

Рис. 1. Функциональная схема диагностирования объекта системой контроля

на этапах разработки, настройки, отладки и эксплуатации и влияния возможных отказов внутренних блоков самой системы контроля.

Методы функционального диагностирования используются на этапе оценки функционирования объекта, при техническом обслуживании, перед или после применения объекта, а также после выполнения ремонтных работ.

Системы функциональной диагностики в большинстве случаев позволяют обнаружить отказ любого элемента изделия с точностью до блока, поскольку в схемах инженерных систем каждый блок выполняет свою функцию. Но бывают ситуации, когда отказ вызван неисправностью, возникающей при совместной работе нескольких блоков, при определённых условиях. В такой ситуации может потребоваться имитация режима функционирования объекта (например, имитация рабочего режима). Недостатками функционального контроля являются необходимость дополнительных аппаратурных затрат и невысокая локализация отказов.

Как уже отмечалось, использование автоматизированных контрольно-диагностических систем на современном этапе развития сложных электронных устройств не отменяет применения стационарных диагностических средств, но существенно снижает их количество. А использование комплексных подходов при контроле и диагностировании позволяет снизить риски и повысить их эффективность.

Алгоритмы контрольно-диагностических тестов. Выбор методов построения алгоритма значительно влияет на эффективность процесса контроля и диагностики [10]. В общем случае процесс комплексного контроля объекта представляет собой циклограммы — последовательность входных и выходных сигналов (стимулов и реакций), привязанных ко времени. Перед разработкой алгоритма необходимо решить следующие задачи:

определение оптимального набора контролируемых параметров;

выбор наиболее информативной последовательности измерения контролируемых параметров.

Типовая структурная схема диагностирования с использованием контрольно-диагностических систем приведена на рис. 2. Здесь и далее, на рис. 3 и 4, используются следующие обозначения:

$ДП_1...ДП_n$ — диагностические параметры; $МК_1...МК_n$ — микроконтроллеры; $E_d...E_{dn}$ — отказы внутренних блоков; $P_э$ — эталонное значение параметра; $R_1...R_n$ — ответные сигналы (реакции); $R_d...R_{dn}$ — ответные сигналы блоков; $S_1...S_n$ — рабочие сигналы (стимулы); S_i — состояние объекта диагностирования; $S_d...S_{dn}$ — сигналы внутренних проверок; S_{di} — диагностическая информация; $U_1...U_i$ — сигналы управления.

Основным управляющим элементом типовой контрольно-диагностической системы является системный блок (промышленный компьютер), который формирует тестовые сигналы (стимулы) и анализирует ответные реакции. Тестовые воздействия, прежде чем попасть в объект диагностирования, проходят через вспомогательные блоки системы, такие как блок измерений, блок датчиков и др. Ответные реакции объекта, по результатам сравнения которых с эталонными параметрами блок принятия решений (процессор) формирует сообщение (выводит на индикатор) о исправности/неисправности того или иного параметра, также проходят через внутренние блоки системы контроля (блок измерений, блок датчиков и др.).

Риск принятия ошибочного решения во многом зависит от исправности блоков, входя-

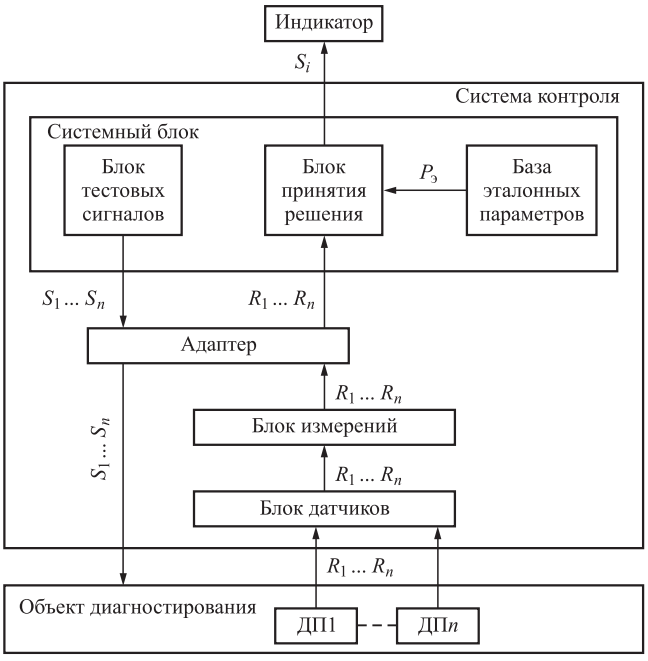

Рис. 2. Структурная схема контроля объекта диагностирования

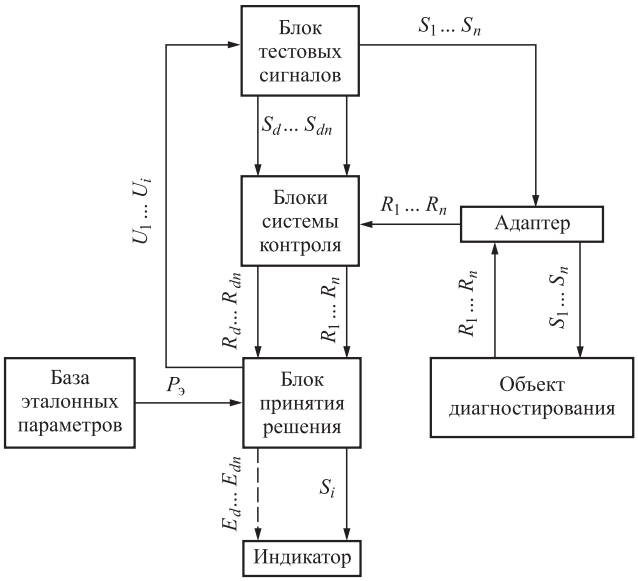

Рис. 3. Схема контроля блоков систем контроля

щих в состав системы контроля. Немаловажным фактором является необходимость снижения вероятности отказа внутренних блоков системы во время проверки объекта.

Одним из решений, позволяющих снизить вероятность отказа блоков и цепей системы контроля, является использование на протяжении всего её жизненного цикла автоматических проверок для оценки состояния внутренних элементов системы (рис. 3). Такие проверки позволят снизить вероятность отказа блоков, предназначенных для проверки объекта и, соответственно, повысить точность контроля и исключить возможность получения некорректных, а иногда и опасных результатов.

Использование встроенного контроля. Применительно к объекту диагностические тесты должны выявлять неявные отказы, осуществлять поиск неисправных узлов, блоков, сборочных единиц, обеспечивать четкую локализацию места отказа. Все воздействия выполняются последовательно в соответствии с циклограммами рабочих режимов. Циклограммы представляют собой последовательность реакций диагностируемого объекта на определённые входные воздействия. Результаты этих воздействий сравниваются с формализованными признаками, характеризующими состояние объекта. При прохождении контрольных тестов в случае возникновения отказа формируется заключение о браке по определённому параметру или группе параметров.

Оператору в большинстве случаев сообщается необработанная информация, в основном сведения о значениях параметров и допусков. При этом в большинстве случаев определение причин отказа, а также отказавшего блока или соединителя зависит от опыта и квалификации оператора. Стремление к повышению качества, снижению стоимости и времени проведения диагностического контроля обусловливает необходимость предоставлять оператору не всю циркулирующую в системе информацию, а лишь переработанные данные, представляющие собой сообщения о причине неисправности и рекомендации по её устранению (рис. 4).

Принцип автоматического встроенного контроля блоков системы контроля заключается в предварительной проверке компонентов и блоков (системной шины, носителей, мезонинов, микроконтроллеров и др.) перед каждой проверкой объекта. При этом проверка самого объекта, в соответствии с алгоритмом диагностических тестов, начинается только в случае успешного завершения тестового обмена информацией процессорного модуля, входящего в состав промышленного компьютера, с внутренними блоками по соответствующим интерфейсам с фиксацией результатов во внутренней памяти. При наличии отказов или сбоев анализируются их причины и осуществляется вывод информации на индикатор с рекомендациями по их устранению.

Преимущество использования диагностических проверок внутренних блоков заключается в возможности получения информации о штатной работе или возникновении сбоя при каждой проверке, что позволяет снизить веро-

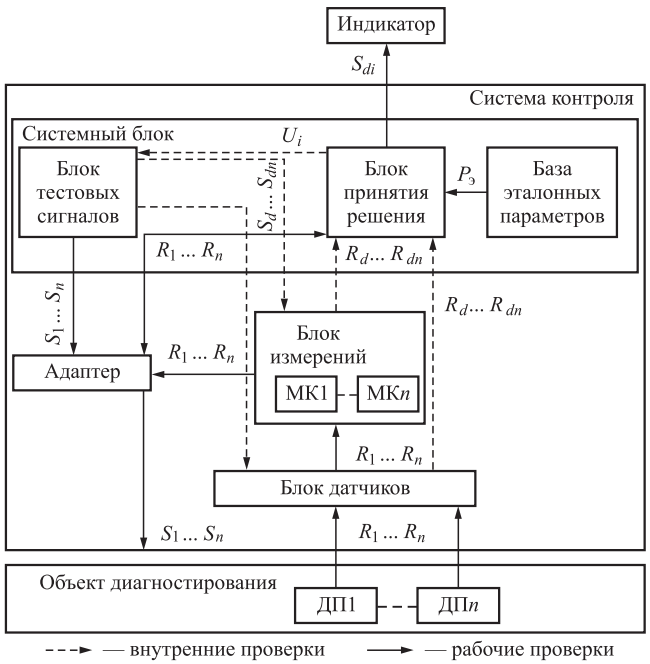

Рис. 4. Структура автоматического контроля блоков систем контроля

ятность влияния отказа блоков на процесс контроля и возникновение аварийной ситуации.

Показатели диагностирования. Важнейшим показателем диагностируемости устройств является совокупность параметров для контроля работоспособности. Количественно этот показатель может быть представлен множеством параметров $U_n = U(u_1, u_2,..., u_n)$ и коэффициентом полноты проверки

$$K_{\text{п.п}} = \frac{\lambda_k}{\lambda_0},$$

где λ_k — суммарный параметр потока отказов составных частей диагностической системы; λ_0 — суммарный параметр потока отказов всех составных частей диагностируемого устройства.

Вся совокупность диагностических параметров должна определять полноту контроля, обеспечивать возможность поиска дефектов и оптимизацию алгоритмов, возможность прогнозирования возникновения повреждения (отказа). При этом немаловажным свойством является чувствительность контрольно-диагностической системы к изменению состояния внутренних блоков.

Таким образом, при выборе совокупности диагностических параметров для повышения уровня автоматизации контрольно-диагностической процедуры должны выполняться следующие условия:

$$K_{\text{п.п}} \to \max,\ \partial U(S_i)/\partial S \to \max \text{ при } U_n \to \min.$$

При этом при определении состояния объекта необходимо учитывать случайные и субъективные воздействия. Объект диагностирования формирует ответную реакцию в результате стимулирующих и управляющих воздействий от системы контроля, по которой определяется его состояние (работоспособное/неработоспособное):

$$S_i(t) = W(S_i, S_{di}, S_r, U_i, R_d, K_c, K_s),$$

где S_i — информация о состоянии объекта; S_{di} — диагностическая информация о состоянии объекта; S_r — рабочее воздействие; U_i — управляющие воздействия; R_d — состояние внутренних блоков; K_c — случайные факторы; K_s — субъективные факторы; W — функция взаимодействия всех факторов.

Полученные результаты во многом зависят от выбора методики. Выбранная методика проведения контрольно-диагностических процедур должна позволять:

синтезировать рациональные алгоритмы проверки работоспособности и поиска места дефекта (отказа);

устанавливать рациональные допуски и нормы технических параметров;

обеспечивать максимальную автоматизацию контрольно-диагностических процедур;

минимизировать влияние случайных и субъективных факторов на процесс контроля.

Заключение. Возможность прогнозирования отказов сложных устройств авионики требует построения новых и оптимизации существующих диагностических тестов, реализуемых с помощью методов автоматизации процедур определения технического состояния объекта. Проведённый анализ выявил необходимость создания более совершенных и эффективных методик контроля и диагностирования с использованием автоматизированных контрольно-диагностических систем.

Снизить вероятность появления ошибок при проведении диагностических тестов на этапе выходных испытаний и повысить эффективность диагностирования возможно за счёт увеличения времени проведения диагностического контроля и создания дополнительных веток контроля при разработке диагностического программного обеспечения. При этом для повышения эффективности контроля и снижения рисков возникновения опасных ситуаций необходимо использовать комплексные подходы, в основе которых лежат унифицированные решения, применение встроенного периодического контроля блоков контрольной аппаратуры и использование пополняемых диагностических баз, хранящихся на встроенных носителях. Реализация представленных методик и подходов увеличит время прохождения диагностического контроля, а также потребует дополнительных цепей и дополнительных веток контроля при разработке диагностических программ, однако она позволит существенно снизить вероятность появления ошибок и повысить эффективности диагностики. Наиболее значимым положительным результатом при этом являются возможность автоматизации процедур контроля и диагностирования и, как следствие, снижение влияния человеческого фактора при проведении диагностического контроля.

Библиографические ссылки

1. **Фёдоров В.К., Сергеев Н.П., Кондрашин А.А.** Контроль и испытания в производстве радиоэлектронных средств. М.: Техносфера, 2005. 504 с.

2. **Сускин В.В., Дубов А.В., Капранов А.П.** Обзор современных средств автоматизации поиска неисправностей в электронных устройствах // Приборы и системы. Управление, контроль, диагностика. 2010. № 2. С. 86—100.

3. **Гатчин Ю.А., Жаринов И.О.** Основы проектирования вычислительных систем интегрированной модульной авионики. М.: Машиностроение, 2010. 224 с.

4. **Парамонов П.П., Жаринов И.О.** Интегрированные бортовые вычислительные системы: обзор современного состояния и анализ перспектив развития в авиационном приборостроении // Научно-технический вестник информационных технологий, механики и оптики. 2013. № 2. С. 1—17.

5. **Лоскутов А.И., Вечеркин В.Б., Шестопалова О.Л.** Автоматизация контроля состояния сложных технических систем на основе использования конечно-автоматной модели и нейросетевых структур // Информационно-управляющие системы. 2012. № 2. С. 74—81.

6. **Пюкке Г.А.** Моделирование и расчёт параметров при решении задач идентификации технических систем. Петропавловск-Камчатский: КамчатГТУ, 2011. 187 с.

7. **Афанасьева О.В., Голик Е.С., Первухин Д.А.** Теория и практика моделирования сложных систем. СПб., СЗТУ, 2005. 131 с.

8. **Заведеев А.И., Ковалев А.Ю.** Диагностика состояния и принципы повышения отказоустойчивости бортовой системы управления космического аппарата // Электронный журнал «Труды МАИ». 2012. Вып. 54. С. 1—9.

9. **Шукалова А.В., Парамонова П.П., Книга Е.В., Жаринова И.О.** Принципы построения вычислительных компонентов систем интегрированной модульной авионики // Информационно-управляющие системы. 2014. № 5. С. 64—70.

10. **Малкин В.С.** Техническая диагностика. М.: Лань, 2013. 267 с.

УДК 629.332

Е.К. Кузин
(ООО «Торговый дом «СаранскСпецТехника», г. Саранск),
С.П. Сульдин, Э.В. Митин
(Национальный исследовательский Мордовский государственный университет им. Н.П. Огарёва, г. Саранск),
А.Э. Митина
(Мордовский государственный педагогический институт им. М.Е. Евсевьева, г. Саранск)
rimstanok@mail.ru

РАСЧЁТ НА ПРОЧНОСТЬ ЛЕГКОВОГО ПРИЦЕПА ОБЩЕГО НАЗНАЧЕНИЯ, ЗАГРУЖЕННОГО ШТАБЕЛЬНЫМ ГРУЗОМ, ПРИ ЭКСТРЕННОМ ТОРМОЖЕНИИ

Проведён расчёт на прочность прицепа общего назначения, загруженного штабельным грузом, с использованием конечно-элементных моделей и компьютерных программных средств проектирования SolidWorks/Simulation.

Ключевые слова: легковой прицеп; борта; груз; SolidWorks; деформация; конструкция; материалы; надёжность; долговечность.

In the article calculation for the strength of a general purpose trailer loaded with stacked cargo using finite element models and computer software design tools SolidWorks/Simulation is given

Keywords: passenger trailer; sides; cargo; SolidWorks; deformation; design; materials; reliability; durability.

Легковые прицепы уже давно и прочно вошли в нашу повседневную жизнь. Спроектировано и изготовлено множество их разновидностей. Легковые прицепы предназначены для перевозки различного типа грузов. В зависимости от вида перевозимого груза легковые прицепы имеют различные компоновки и особенности конструкции. В частности, в ООО «Торговый дом «СаранскСпецТехника» (г. Саранск), выпускающем легковые прицепы, условно их разделяют на три основных вида: общего назначения, коммерческие и специальные (прицепы для водной техники). Легковые прицепы общего назначения имеют стандартную грузовую платформу, откидные борта и комплектуются тентами. Их используют для перевозки различных видов груза, которые не требуют особых условий при транспортировке. К таким грузам относятся строительные материалы, мебель, бытовая и другая малогаба-

ритная техника, инструменты и многое другое, что помещается в прицепе и не превышает его допустимую грузоподъёмность. При производстве прицепов общего назначения используются оптимизированные конструкции режущего инструмента [1—5] и автоматизированные системы проектирования, что позволяет обеспечить их высокие эксплуатационные характеристики и надёжность.

В данной статье рассматривается расчёт на прочность загруженного штабельным грузом прицепа общего назначения с использованием конечно-элементной трёхмерной модели в среде автоматизированного проектирования SolidWorks/Simulation.

Программные средства Simulation требуют соблюдения базовой канвы алгоритма метода конечных элементов, предоставляя в пределах каждого этапа проектирования определённую свободу в последовательности шагов подготовки конечно-элементной модели, непосредственно расчёта и представления его результатов.

Для расчёта прочности в упругой постановке предлагается следующая последовательность шагов:

1) создание анализа определённого типа и определение его настроек. Последние могут быть изменены в любой момент перед выполнением расчёта;

2) заполнение, если необходимо, таблицы параметров, определяющей набор величин, которые могут изменяться (для которых могут назначаться списки значений) в ходе расчёта;

3) подготовка исходных данных для проектирования и расчёта прицепа: назначение материала для детали или деталей, кинематических граничных условий, статических граничных условий, создание сетки;

4) выполнение расчёта;

5) обработка результатов: создание необходимых диаграмм, анализ диаграмм, экспорт результатов.

Расчёт прицепа проводится для наиболее неблагоприятных с точки зрения прочности режимов при наличии штабельных грузов, загруженных, как показано на рис. 1.

При автоматизированном расчёте параметров конструкции прицепа общего назначения принимается, что основные её элементы изготовлены из оцинкованной стали.

Расчёт выполняется с использованием специализированного программного вычислительного комплекса, реализующего метод конечных элементов.

Рис. 1. Легковой прицеп, загруженный штабельным грузом

Для подготовки данных о топологии конечно-элементной расчётной схемы, вычисления напряжений в элементах, определения распределения нагрузок в конструкции, а также вычерчивания расчётных схем использовался специальный прикладной программный комплекс.

Для описания подкрепляющих и несущих элементов конструкции прицепа использовались пространственные пластинчатые восьмиузловые и объёмные десятиузловые конечные элементы.

При составлении расчётной схемы в качестве глобальной системы координат была выбрана правая декартова система с центром на продольной оси прицепа в плоскости среднего сечения рамы; ось X направлена вдоль продольной оси прицепа, ось Z — вертикально вниз.

При расчёте были приняты следующие допущения:

материал конструкции работает в упругой стадии деформирования;

материал конструкции обладает постоянными жёсткостными характеристиками: модулем упругости, равным $2{,}0 \cdot 10^{11}$ МПа, и коэффициентом Пуассона, равным 0,29.

В результате расчёта получены распределения напряжений в виде эквивалентных напряжений по Мизесу по всей конструкции прицепа (рис. 2); распределения статических (рис. 3) и относительных деформаций (рис. 4).

Обобщая полученные результаты, можно сделать вывод, что выполненный расчёт прочности загруженного штабельным грузом прицепа общего назначения при экстренном торможении показал, что максимальные суммарные напряжения не превышают допустимого значения 204 МПа. Так, наибольшее значение напряжения наблюдается для бокового борта и составляет 183 МПа, что обеспечивает достаточный запас прочности и позволяет говорить о высоком качестве легковых прицепов обще-

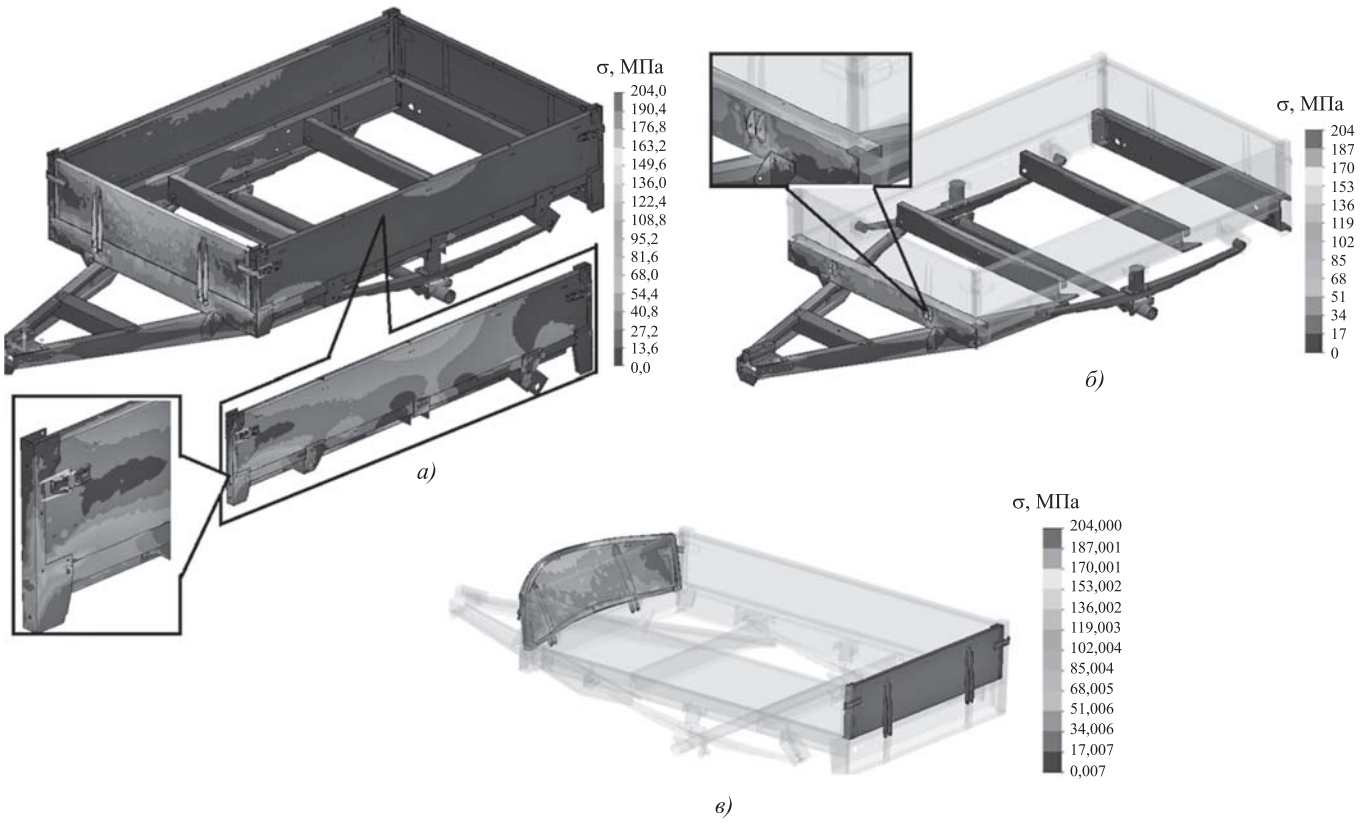

Рис. 2. Распределение напряжений σ по конструкции прицепа:
а — боковым бортам; *б* — несущей части; *в* — торцевым бортам

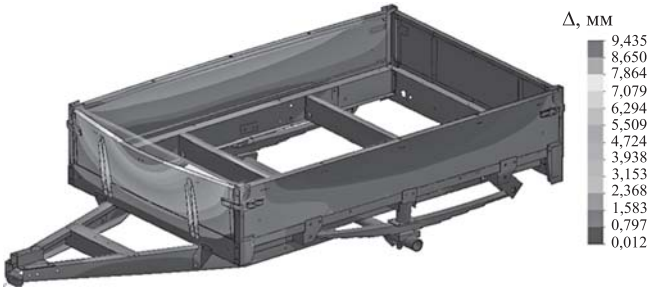

Рис. 3. Распределение статических перемещений Δ по конструкции прицепа

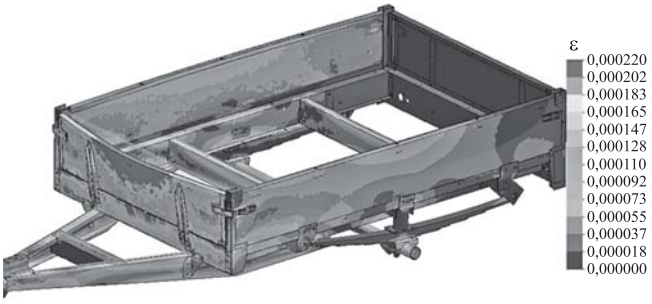

Рис. 4. Распределение относительных деформаций ε по конструкции прицепа

го назначения, производимых компанией ООО «Торговый дом «СаранскСпецТехника».

Использование метода конечных элементов позволяет практически полностью автоматизировать расчёт конструкции машиностроительных изделий любой сложности, а применение современных программных средств даёт возможность инженерам решать разнообразные задачи, обеспечивая высокую точность получаемых результатов.

Библиографические ссылки

1. **Shchekin A.V., Mitin E.V., Sul'din S.P.** Library of parametric hob models in the KOMPAS system // Russian Engineering Research. 2014. Vol. 34. No 5. P. 321—325.

2. **Shchekin A.V., Mitin E.V., Sul'din S.P.** Structure of the library of parametric gear-cutter models in the KOMPAS system // Russian Engineering Research. 2014. Vol. 34. No 11. P. 701—704.

3. **Shchekin A.V., Mitin E.V., Sul'din S.P.** CAD-assisted hob design // Russian Engineering Research. 2013. Vol. 33. No 5. P. 279—281.

4. **Щёкин А., Митин Э., Сульдин С.** Автоматизация проектирования червячных зуборезных фрез в системе КОМПАС // САПР и графика. 2011. № 12 (182). С. 101—104.

5. **Щёкин А., Митин Э., Сульдин С.** Автоматизация проектирования спиральных сверл в системе КОМПАС // САПР и графика. 2013. № 1 (195). С. 90—94.

УДК 629.7.07

Е.А. Микрин, д-р техн. наук, акад. РАН, **А.В. Филимонов, Н.Е. Зубов,** д-р техн. наук
(ПАО РКК «Энергия», АО «Пространственные системы информации»,
Московский государственный технический университет им. Н.Э. Баумана)

Nikolay.Zubov@rsce.ru

МЕТОДИКА ОЦЕНКИ ВЕРОЯТНОСТИ ПАДЕНИЯ ТЯЖЁЛОГО ЛЕТАТЕЛЬНОГО АППАРАТА НА ПОТЕНЦИАЛЬНО ОПАСНЫЙ ОБЪЕКТ В РЕЗУЛЬТАТЕ АВИАЦИОННОЙ КАТАСТРОФЫ

Рассмотрены основные вопросы, связанные с разработкой методики оценки вероятности падения тяжёлого летательного аппарата на потенциально опасный объект (атомную электростанцию) в результате произошедшей авиационной катастрофы. Анализируются возможности возникновения аварийных ситуаций с летательными аппаратами. Усовершенствована существующая методика оценки вероятности падения летательного аппарата массой более 90 т на потенциально опасный объект в результате авиационной катастрофы путём разработки алгоритма расчёта условной плотности вероятности падения летательного аппарата на этапе полёта.

Ключевые слова: потенциально опасный объект; атомная электростанция; тяжёлый летательный аппарат; авиационная катастрофа; вероятность; оценка.

The main issues related to the development of a methodology for estimating the probability of a heavy aircraft falling to a potentially dangerous facility (nuclear power plant) as a result of an occurred aviation catastrophe are considered. The possibilities of emergency situations occurrence with aircraft are analyzed. The existing methodology for estimating the falling probability of an aircraft with a mass of more than 90 ton on a potentially dangerous object as a result of an aircraft catastrophe has been improved by developing an algorithm for calculating the conditional density of the an aircraft falling probability during the flight phase.

Keywords: potentially dangerous object; nuclear power plant; heavy aircraft; aircraft catastrophe; probability; evaluation.

Введение. Потенциально опасным объектом считается объект, на котором используют, производят, перерабатывают, хранят или транспортируют радиоактивные, пожаровзрывоопасные, опасные химические и биологические вещества, создающие реальную угрозу возникновения источника чрезвычайной ситуации [1].

Согласно приведённому определению атомные электростанции (АЭС) являются потенциально опасными объектами и относятся к наиболее ответственным с экономической, экологической и социальной точек зрения объектам. Непременным требованием при проектировании АЭС является обеспечение безопасности при возникновении аварийных и чрезвычайных ситуаций. При проектировании новых и модернизации существующих энергоблоков безопасность АЭС (в частности, ядерная и радиационная) должна быть обеспечена не только в условиях нормальной эксплуатации, но и в аварийных ситуациях, а также при любых экстремальных воздействиях природного или техногенного характера.

Одной из наиболее тяжёлых возможных аварий является падение тяжёлого самолёта или его обломков на сооружения АЭС. Её особенностями являются чрезвычайно малая вероятность и очень большие нагрузки на строительные конструкции, а также на оборудование вследствие вынужденных колебаний здания. Помимо воздействия при ударе тяжёлого тела, обладающего высокой скоростью в момент соударения, опасность представляют наличие большого количества горючего (реактивного топлива) в баках самолёта, которое неизбежно воспламеняется в подобных условиях, и возможность взрыва паров топлива.

Традиционные исследования в области безопасности авиации в соответствии с идеологией Международной организации гражданской авиации (ИКАО) посвящены решению проблем, возникающих до возможной катастрофы летательного аппарата (ЛА). Окружающая среда при этом рассматривается как источник опасностей для выполнения полётов гражданской авиации. Оценка рисков влияния гражданской авиации на «тре-

тью сторону» ставит своей основной целью уменьшить негативное влияние транспортных авиационных процессов на состояние окружающей среды. Поэтому с точки зрения безопасности полётов воздушное судно (ВС), потерпевшее катастрофу, перестаёт быть объектом дальнейших исследований.

Решение о необходимости учёта удара самолёта в проекте АЭС принимается на основе анализа воздушной обстановки в её окрестности. При этом в зависимости от результатов этого анализа падение самолёта либо не учитывают вообще, либо предполагается, что реализуется наиболее неблагоприятный случай воздействия: удар самолёта с максимальной массой и скоростью, в наиболее опасную точку здания, под самым опасным углом. Высокий уровень неопределённости ряда исходных данных при вычислении годовой вероятности столкновения ВС с объектом и определении других характерных параметров рисков обусловливает необходимость использования принципа консервативных оценок. Такой подход приводит к чрезвычайно большим нагрузкам на строительные конструкции и оборудование АЭС.

Методы анализа безопасности при экстремальных воздействиях на АЭС описаны в работах Ю.К. Амбриашвили, С.Б. Архипова, Т.А. Белаш, А.М. Белостоцкого, В.С. Беляева, А.Н. Бирбраера, С.Е. Бугаенко, П. Варпасоо, А.В. Вовкушевского, А.С. Дмитриева, Н.Ф. Зорна, М.В. Караковского, А.И. Касьян, А.П. Кириллова, А.Г. Краева, Дж. Крутцика, А.Н. Медведь, И.Н. Нестерова, А.В. Петренко, А.И. Попова, Дж.Д. Риеры, А.Ю. Роледера, А.Е. Саргсяна, Ю.Э. Сеницкого, А.Г. Тяпина, А.А. Храпкова, Б.В. Цейтлина, Х. Шибаты, Г.И. Шуллера, С.Г. Шульмана и др.

Разработанные за последние десятилетия методы расчёта конструкций АЭС на экстремальные воздействия нашли своё отражение в ряде отечественных и международных нормативных документов. При этом, несмотря на наличие ряда вероятностных элементов, связанных с выбором сочетаний нагрузок, воздействий и параметров экстремальных воздействий, анализ прочности, устойчивости и другие расчёты различных подсистем и элементов АЭС при особых воздействиях обычно выполняются детерминистическими методами.

Дальнейшее развитие методов оценки надёжности и безопасности различных элементов АЭС при экстремальных воздействиях с использованием вероятностных методов нашло своё отражение в работах А.Н. Бирбраера, С.Л. Буторина, Р.П. Кеннеди, Дж.Д. Стивенсона, С.Г. Шульмана и др. Однако, как показывает анализ литературы, оценка надёжности и безопасности АЭС с учётом комплекса экстремальных техногенных воздействий носит пока весьма ограниченный характер. Решение этих проблем требует системного подхода и развития соответствующих методологических аспектов, а также решения целого ряда частных задач, связанных с расчётом отдельных элементов АЭС на особые динамические воздействия с учётом всего комплекса случайных и неопределённых факторов.

В данной работе даётся оценка вероятности падения тяжёлого самолёта на АЭС в результате авиационной катастрофы.

Анализ возможностей возникновения аварийных ситуаций с ЛА. Риск столкновения ВС с наземными объектами оценивают в первую очередь в тех случаях, когда согласно заданному уровню ответственности предъявляются исключительно высокие требования к надёжности функционирования объектов и анализ падения ВС регламентируется нормативно. К таким наземным объектам относятся сооружения энергетического назначения, а также объекты химической и других отраслей промышленности, где в результате столкновения или падения ВС могут возникнуть чрезвычайные ситуации, вызывающие значительные экономические и социальные потери.

Считается, что любой случай падения ВС может быть обусловлен влиянием одного из трёх важнейших факторов (или их комбинацией):

технический отказ оборудования ВС или средств управления воздушным движением;

ошибки экипажа и группы руководства полётами («человеческий фактор»);

неблагоприятные метеорологические условия.

В Российской Федерации в нормах лётной годности определена максимальная допустимая вероятность возникновения аварийной (катастрофической) ситуации на борту гражданского ВС за один час полёта, которая составляет 10^{-7}. Аналогичные нормативы вероятности возникновения катастрофической ситуации установлены для зарубежных ВС гражданского назначения.

Фактическая частота возникновения подобных ситуаций как в отечественной гражданской авиации, так и за рубежом, как правило, выше указанных нормативов. Например, в докладе Межгосударственного авиационного комитета «Состояние безопасности полётов в гражданской авиации государств — участников Соглашения о гражданской авиации и об использо-

вании воздушного пространства в 2013 г.» даны следующие оценки числа авиационных происшествий и (катастроф) тяжёлых транспортных самолётов массой свыше 10 т на 1 млн лётных часов: 2006 г. — 3,1 (2,3); 2007 г. — 1,1 (1,1); 2008 г. — 1,9 (0,96); 2009 г. — 2,2 (1,1); 2010 г. — 3,4 (1,0); 2011 г. — 3,7 (2,6) [1—6].

Надзорные органы (Межгосударственный авиационный комитет, инспекция по безопасности полётов и др.) ведут учёт аварий и катастроф и располагают достоверной и полной статистикой потерь ВС. Эмпирические частоты катастроф зависят от класса ВС и этапа его полёта. В частности, доля авиационных происшествий при полёте по трассе для тяжёлых ВС массой свыше 10 т составляет 10 % от общего числа авиационных происшествий. Установлено, что аварийные происшествия чаще всего происходят на этапах взлёта и посадки.

В соответствии с положениями документа [7] считается, что траектория падения ВС представляет собой прямую, наклонённую к земной поверхности в диапазоне углов от 10 до 45°. Этот фактор определён эмпирически при расследовании обстоятельств лётных происшествий, но на самом деле определяет только возможные углы подхода к поверхности Земли.

ВС всегда отклоняется в пространстве от расчётной траектории полёта. Отклонения по своей природе обусловлены ошибками самолётовождения (ошибки навигационных систем, ошибки экипажей, метеорологические факторы и т. п.). Чем выше качество навигации, тем меньше вероятность падения ВС на отдельный энергоблок или площадку АЭС, поскольку трассы воздушных линий и зоны пилотирования стараются не размещать непосредственно над опасными ядерными и радиационными объектами. При полётах в специальных зонах пилотирования или над авиационными полигонами в качестве параметра неопределённости выдерживания положения ВС можно использовать долю времени (вероятность) пребывания ВС вне зоны или полигона при отработке боевых приёмов и техники пилотирования.

К числу факторов, которые следует принимать во внимание при расчёте вероятности падения ВС на площадку АЭС или энергоблок, можно отнести:

номинальные значения высоты полёта ВС (эшелон) H, плановую путевую скорость полёта W, а также минимальное боковое (плановое) отклонение траектории полёта (воздушного коридора) от площадки АЭС A_0 и её энергоблоков A_i;

характеристики, отражающие точность навигационных систем ВС и параметры пилотирования (среднеквадратичное отклонение (СКО) ошибки выдерживания высоты полёта σ_y, СКО боковой ошибки σ_z, ширина воздушного коридора L_z);

размах крыла ВС d_z, радиус фюзеляжа $r_ф$ и его полётная масса $m_{ВС}$;

размеры и ориентация площадки АЭС (считается, что форма этого объекта — прямоугольный параллелепипед со следующими характеристиками: координаты центра объекта x_o и z_o, длина l_x, ширина l_z и высота l_y, угол ориентации главной оси объекта к направлению трассы полёта ЛА ψ);

размеры и ориентация энергоблока (считается, что форма этого объекта — прямоугольный параллелепипед со следующими характеристиками: координаты центра объекта $x_{эi}$ и $z_{эi}$, длина $l_{xэi}$, ширина $l_{zэi}$ и высота $l_{yэi}$, угол ориентации главной оси объекта к направлению трассы полёта ВС $\varphi_{эi}$ или круговой цилиндр с характеристиками: координаты центра объекта $x_{эi}$ и $z_{эi}$, радиус $R_{эi}$ и высота $h_{эi}$);

нормативная и фактическая частота аварий ВС определённого типа;

число рейсов, выполняемых ежегодно по каждой из трасс, проходящих в районе площадки АЭС;

число вылетов ВС государственной авиации на полигоны (зоны отработки техники пилотирования);

распределение числа обломков тяжёлых самолётов по массам при лётном происшествии и доля случаев, когда ВС в результате лётного происшествия разрушается в воздухе.

Общие положения оценивания вероятности падения тяжёлого ЛА на АЭС. Американский стандарт безопасности DOE-STD-3014—96 [8] для оценки вероятности падения ВС на территорию АЭС и её энергоблоки предлагает использовать так называемую «четырёхэлементную» формулу

$$F = \sum_{ijk} N_{ijk} P_{ij} f_{ij}(x, y) A_{ij}, \qquad (1)$$

где F — расчётная частота падения ЛА на территорию АЭС (или на энергоблоки), число событий/год; N_{ijk} — число полётов ЛА j-й группы на i-м этапе полёта по k-й воздушной трассе; P_{ij} — частота аварийных ситуаций для ЛА j-й группы на i-м этапе полёта; $f_{ij}(x, y)$ — условная плотность вероятности падения ЛА j-й группы на i-м этапе полёта в результате возникновения аварийной ситуации на участок площадью в 1 кв. милю, центр которого характеризуется координатами x и y; A_{ij} — эффективная площадь АЭС (энергобло-

ка АЭС) для ЛА j-й группы на i-м этапе полёта, кв. миль; $i = 1, 2, 3$ (номер этапа полёта: 1 — взлёт, 2 — полёт по маршруту, 3 — посадка); $j = 1, 2, ..., 11$ (номер, соответствующий группе самолётов определённого класса); $k = 1, 2, ..., K$ — условный номер воздушной трассы.

Воспользоваться этой формулой без внесения некоторых изменений применительно к конкретной АЭС затруднительно, поскольку она предполагает наличие исходных данных, которые на практике получить невозможно. Так, не всегда есть необходимая информация о матрице вероятностей P_{ij}, поскольку, например, в материалах ИКАО приводятся данные не по всем градациям ВС, при этом этап полёта, на котором произошло лётное происшествие, вообще не указывается.

Не менее сложной является проблема получения достоверных оценок условной плотности вероятности падения ЛА $f_{ij}(x, y)$ в определённом географическом районе. Отметим, что американские специалисты проделали большую работу и методами математической статистики оценили соответствующие плотности вероятности для континентальной части США (CONUS), однако при этом данные разных исследователей порой отличаются на два-три порядка. Аналогичные оценки для любых территорий, естественно, отсутствуют. Более того, из-за существенных отличий в численности ВС, относящихся к классу авиации общего назначения (АОН) (в США насчитывается свыше 200 тыс. судов этого класса), распространить американские оценки на все случаи не представляется возможным.

Далее, в стандарте [8] определены лишь самые общие принципы определения эффективной площади объекта A_{ij}. Так, способы учёта экранирования зданий АЭС рельефом местности, специальными техническими сооружениями, явления рикошетирования ЛА, соприкоснувшегося с земной поверхностью при небольших углах наклона траектории, в должной мере не формализованы.

Большим достоинством американской методики можно считать продуманный алгоритм учёта вероятности аварийного воздействия на АЭС со стороны взлетающих (приземляющихся) ВС. Этот алгоритм предусматривает использование заранее рассчитанных полей вероятности падения ВС с учётом типа аппаратов, положения посадочного круга относительно оси взлётно-посадочной полосы (ВВП), рекомендованной скорости набора высоты (снижения) в районе аэродрома и т. п. Однако если вблизи АЭС аэродромов нет, это достоинство не имеет значения.

В Российской Федерации, в связи с тем, что авиация общего назначения пока не получила должного развития, сопоставимого по масштабам с АОН США, представляется нерациональным воспроизведение «американской» методики учёта опасности воздушного движения для АЭС. Здесь главная угроза исходит от ВС, следующих по воздушным трассам, и в меньшей степени — от активности на местных воздушных линиях, для каждой из которых характерны положение оси воздушной трассы относительно АЭС, ширина воздушной трассы, диапазон высоты полёта ВС по трассе и частота движения в прямом и обратном направлении.

Методика оценки вероятности падения тяжёлого ЛА на АЭС. В связи с указанными обстоятельствами необходима разработка методики расчёта условной плотности вероятности падения ВС j-й группы на этапе полёта по маршруту (воздушной трассе). Для этого примем следующие предположения и допущения [9]:

1. При полёте по маршруту (воздушной трассе) законы распределения условных плотностей вероятности положения ВС j-го класса вдоль осей x, y и z считаются независимыми и задаются следующим образом:

вдоль оси x (направления трассы полёта) — равномерное распределение с плотностью вероятности

$$f_j(x) = \frac{k_{\text{м}}}{L_{\text{м}j}}, \ \text{км}^{-1}, \qquad (2)$$

где $k_{\text{м}}$ — доля числа аварий и катастроф, возникающих на этапе полёта по воздушной трассе, в общем числе аварий и катастроф; $L_{\text{м}j}$ — средняя протяжённость маршрута ВС j-го типа;

вдоль оси y (вертикальной оси в земной системе координат) — нормальное распределение с математическим ожиданием, соответствующим рекомендованной высоте воздушной трассы ВС, и СКО, зависящим от точности выдерживания высоты (определяется точностью приборного оборудования ВС):

$$f_j(y) = \frac{1}{\sqrt{2\pi}\sigma_{yj}} \exp\left[-\frac{(y - m_{yj})^2}{2\sigma_{yj}^2}\right], \ \text{км}^{-1}, \ (3)$$

где m_{yj} — рекомендованное значение высоты полёта ВС j-го типа; σ_{yj} — среднеквадратичное отклонение высоты полёта ВС j-го типа от рекомендованного значения;

вдоль оси z (дополняющей оси x и y в правой декартовой системе координат) — равно-

мерное распределение внутри воздушной трассы с экспоненциальным спадом по его краям:

$$f(z) = \begin{cases} \dfrac{k}{L_{KZ}} & \text{при } |z| \leqslant L_{KZ}/2; \\ \dfrac{1-k}{\sqrt{2\pi}\sigma_z}\exp[-\dfrac{(z-L_{KZ}/2)^2}{2\sigma_z^2}] & \\ \text{при } |z| > L_{KZ}/2, \text{ км}^{-1}, & \end{cases}$$

где L_{KZ} — ширина воздушной трассы; σ_z — среднеквадратичное отклонение боковой координаты ВС от оси воздушной трассы; $k = L_{KZ}/(L_{KZ} + \sqrt{2\pi}\sigma_z)$.

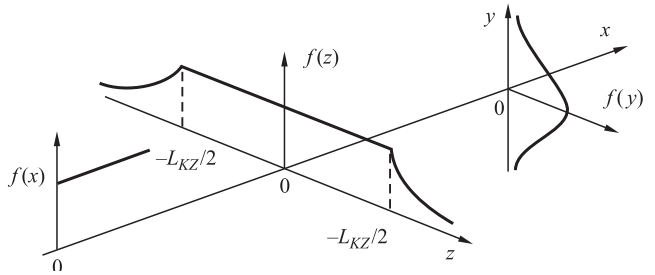

Рис. 1. Законы распределения координат ЛА в коридоре трассы

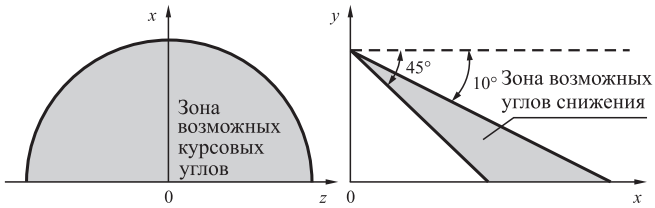

Рис. 2. Возможные курсовые углы и углы снижения ЛА при аварии

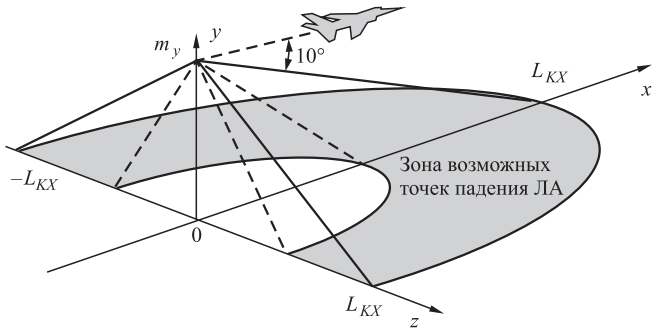

Рис. 3. Форма и размеры зоны возможных точек падения ЛА

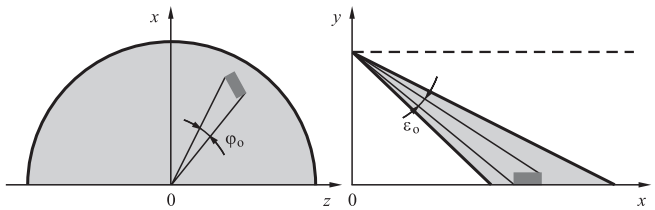

Рис. 4. Определение текущих значений углов визирования объекта:

φ_o — в горизонтальной плоскости; ε_o — в вертикальной плоскости

Указанные закономерности иллюстрируются на рис. 1 [9].

2. Постулируется, что траектория снижения аварийного ВС является прямолинейной со следующими законами распределения угловых параметров:

курсовой угол относительно заданной линии пути (направления воздушной трассы) φ распределён по нормальному закону с нулевым математическим ожиданием и среднеквадратичным отклонением σ_φ, при этом курсовой угол по модулю не превосходит 90°:

$$f(\varphi) = \frac{1}{\sqrt{2\pi}\sigma_\varphi}\exp\left[-\frac{\varphi^2}{2\sigma_\varphi}\right]; \qquad (4)$$

угол снижения ВС относительно горизонтальной плоскости ε распределён равномерно в диапазоне от 10 до 45° (угол отсчитывается вниз относительно горизонтали).

Указанные закономерности иллюстрируются на рис. 2.

3. Протяжённость участка трассы, на котором теоретически возможно возникновение условий для падения ВС, определяется номинальной высотой трассы и минимальным углом снижения ВС при аварийном происшествии:

$$L_{KX} = \frac{m_y}{\operatorname{tg} 10^\circ}.$$

Зоны возможных точек падения показаны на рис. 3 [9].

4. Исходя из изложенного, плотность вероятности боковой координаты точки падения ВС j-го типа определяется из соотношения

$$f_j(z_{\text{ТП}}) = \int_0^{L_{KX}}\int_{-\infty}^{\infty}\int_{-\infty}^{\infty} f(x)f(y)f(z)P_\varphi(y,z)P_\varepsilon(y,z,\varphi)dxdydz, \qquad (5)$$

где $P_\varphi(y, z)$ — вероятность того, что траектория падающего ВС из точки пространства с координатами (0, y, z) соответствует диапазону курсовых углов, при которых обеспечивается пролёт ВС через выбранный участок (в плоскости угла φ); $P_\varepsilon(y, z, \varphi)$ — вероятность того, что траектория падающего ВС из точки пространства с координатами (0, y, z) и курсовым углом φ соответствует диапазону углов снижения, при которых обеспечивается пролёт ВС через выбранный участок (в плоскости угла ε); L_{KX} — максимальное расстояние в горизонтальной плоскости, на которое может удалиться ВС от точки, в которой начинается падение.

Правила для вычисления углов визирования объекта в горизонтальной и вертикальной плоскости иллюстрируются на рис. 4.

Вероятности $P_\varphi(y, z)$ и $P_\varepsilon(y, z, \varphi)$ определяются следующим образом:

$$P_\varphi(y,z) = \frac{1}{\sqrt{2\pi}\sigma}\int_{\varphi_{min}}^{\varphi_{max}} \exp\left[-\frac{\varphi^2}{2\sigma_\varphi^2}\right] d\varphi;$$

$$P_\varepsilon(y,z,\varphi) = \frac{1}{0,6108}\int_{\varphi_{min}}^{\varphi_{max}} \varepsilon_o(\varphi)\, d\varphi,$$

где $\varepsilon_o(\varphi)$ — зависимость угла визирования объекта в вертикальной плоскости от текущего значения угла φ; φ_{min} и φ_{max} — минимальный и максимальный углы визирования выбранного участка в горизонтальной плоскости соответственно.

Если выбранный участок местности попадает в установленный допустимый диапазон углов лишь частично, то при интегрировании учитывают только ту часть угла, которая входит в допустимый диапазон. Если указанные углы не принадлежат допустимым диапазонам, то соответствующая вероятность принимается равной 0.

Диаграмма на рис. 5 поясняет правила определения углов визирования участка местности (квадрата со сторонами 1 км), используемые при расчёте вероятностей $P_\varphi(y, z)$ и $P_\varepsilon(y, z, \varphi)$.

Суммируя вероятности падения ВС на участки, принадлежащие одной «колонке» (т. е. с одинаковым значением координаты z), и подставляя их в формулу (5), получаем зависимость условной плотности вероятности падения ВС $f_j(z_{ТП})$ от указанной координаты.

На рис. 6 и 7 приведены результаты расчётов условной плотности вероятности $f_j(z_{ТП})$ для двух групп значений параметров: на рис. 6 — для случая, когда ширина воздушной трассы составляет 10 км, а значения высоты полёта — 8, 11 и 14 км; на рис. 7 — для случая, когда высота полёта составляет 8 км, а значения ширины воздушной трассы — 5, 10 и 20 км.

Полагая, что продольная координата точки начала падения ВС на трассе является равномерно распределённой по закону $f_j(x)$ и не зависящей от боковой координаты, значение условной плотности вероятности точек падения ВС j-го типа на этапе полёта по воздушной трассе ($i = 2$) вычисляется по формуле

$$f_{2j}(x, z) = f_j(x) f_j(z_{ТП}).$$

После подстановки вычисленных значений для соответствующего удаления центра АЭС от оси воздушной трассы условные плотности вероятностей в «четырёхэлементную» формулу и производится суммирование по всем воздушным трассам в районе АЭС. При этом

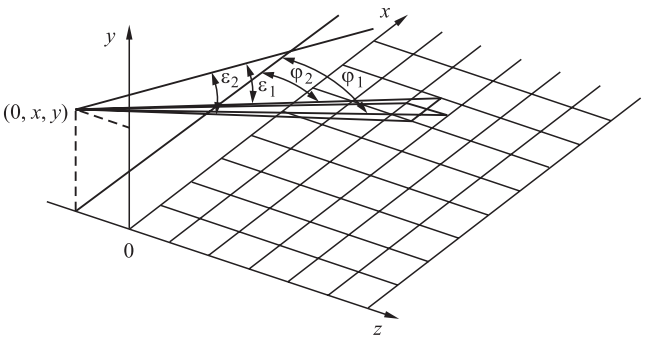

Рис. 5. Углы визирования участка местности со сторонами, равными 1 км, в начальный момент перехода ВС на траекторию падения

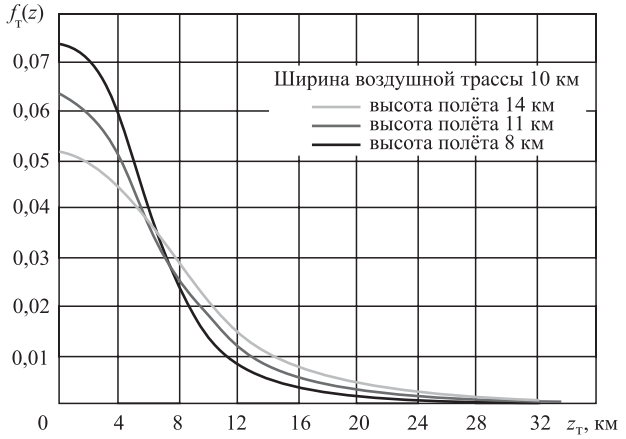

Рис. 6. Зависимости условной плотности вероятности боковой координаты точки падения ЛА при трёх значениях высоты полёта

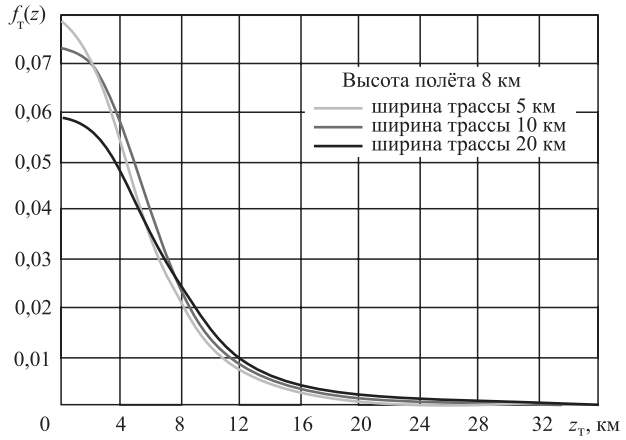

Рис. 7. Зависимости условной плотности вероятности боковой координаты точки падения ЛА при трёх значениях ширины трассы

значение частоты аварийных ситуаций имеет две градации:

для ВС, совершающих регулярные полёты по воздушным трассам, $P_{ВТ}^{МВС}$;

для ВС, относящихся к авиации общего назначения, $P_{ВТ}^{АОН}$.

С учётом того, что преобладающая доля аварий и катастроф ВС происходит на этапах выполнения взлётно-посадочных операций, указанные величины перед подстановкой в формулу следует умножить на коэффициент, соответствующий статистической доле аварий и катастроф ВС в данном регионе и этапу маршрутного полёта.

Заключение. В результате проведённых исследований путём разработки алгоритма расчёта условной плотности вероятности падения ВС на этапе полёта усовершенствована методика оценки вероятности падения ЛА массой более 90 т на потенциально опасный объект (площадку АЭС и атомный энергоблок) в результате авиационной катастрофы.

Библиографические ссылки

1. **ГОСТ Р 22.0.02—94** «Безопасность в чрезвычайных ситуациях. Термины и определения основных понятий».

2. **Состояние** безопасности полётов гражданских воздушных судов государств — участников «Соглашения о гражданской авиации и использовании воздушного пространства» в 2008 г. М.: МАК, 2008.

3. **Состояние** безопасности полётов гражданских воздушных судов государств — участников «Соглашения о гражданской авиации и использовании воздушного пространства» в 2009 г. М.: МАК, 2009.

4. **Состояние** безопасности полётов гражданских воздушных судов государств — участников «Соглашения о гражданской авиации и использовании воздушного пространства» в 2013 г. М.: МАК, 2013.

5. **Общие** положения обеспечения безопасности атомных станций (ОПБ—88/97) ПНАЭГ-1-011—97. М.: Госатомнадзор, 1997.

6. **Ежегодный** доклад к сессии ИКАО. Состояние безопасности полётов в мире. Монреаль: ИКАО, 2013.

7. **Нормы** строительного проектирования АЭС с реакторами различного типа. ПиН АЭ-5.6. М.: Атомэнергопроект, 1986.

8. **Стандарт** DOE-STD-3014—96. Министерство энергетики США, Вашингтон, округ Колумбия, 20585.

9. **Касьян А.И., Медведь А.Н., Нестеров И.А., Тандура В.П.** К оценке вероятности падения летательного аппарата на площадку атомной электростанции // Двигатель. 2015. № 2 (98). С. 26—29.

УДК 621.38

С.Ю. Сотникова, канд. техн. наук
(Национальный исследовательский университет «Высшая школа экономики», г. Москва)
sveta1708@mail.ru

МЕТОД ВИРТУАЛЬНЫХ ИСПЫТАНИЙ ЭЛЕКТРОННЫХ СРЕДСТВ НА ОСНОВЕ АВТОМАТИЗИРОВАННОГО МОДЕЛИРОВАНИЯ

Предложен метод использования компьютерных программ моделирования физических процессов при проведении виртуальных испытаний электронных средств. Метод позволяет оперативно проверить запасы выходных характеристик при внесении изменений в проект.

Ключевые слова: виртуальная модель; электронное средство; испытания; запас; проектирование; физические процессы.

The method of using computer programs for modeling physical processes at conducting virtual tests of electronic facilities is proposed. The method allows you to check quickly the stock of output characteristics at changes inclusion to the project.

Keywords: virtual model; electronic facility; testing; stock; designing; physical processes.

Проектирование электронных средств (ЭС), в том числе специального назначения, — длительный и сложный процесс. В условиях возрастающей конкуренции функциональность ЭС повышается и одновременно возрастают требования к выходным характеристикам. Соответствие выходных характеристик предъявляемым к ним требованиям подтверждается испытаниями на образцах, объём которых с ростом функциональности ЭС увеличивается. По результатам испытаний приходится вносить изменения в образец, что иногда приводит к полной его переделке.

Чем сложнее ЭС в функциональном отношении и чем выше физические внешние воздействия на него (электромагнитные, темпе-

ратурные, механические и др.), тем больше затраты на его проектирование, изготовление и физические испытания. В наиболее сложных случаях разработчики ЭС при выполнении опытно-конструкторской работы вынуждены идти на определённый риск, соглашаясь не проводить ряд дорогостоящих испытаний и заменить их расчётами. Решением этой проблемы является полное компьютерное моделирование физических процессов, протекающих в ЭС, с проведением виртуальных испытаний [1].

Виртуальными испытаниями ЭС называются комплексные вычислительные эксперименты на иерархически представленных математических моделях его конструкции для анализа полученных технических характеристик. Под комплексностью понимается совместное рассмотрение протекающих в конструкции ЭС взаимосвязанных электрических, тепловых, механических и других физических процессов [2], визуально отображаемых на мультимониторных установках (имеется в виду компьютер с несколькими подключенными мониторами) с итоговыми графиками и картами режимов работы электронных компонентов, и материалов несущих частей конструкции. Это даёт возможность получить информацию о физических нагрузках на электронных компонентах и в материалах несущих конструкций.

Имитируя взаимодействие моделируемых физических процессов, проектировщику на мультимониторной установке вычислительного комплекса удобно наблюдать и анализировать одновременно распределения значений напряжений, мощностей тепловыделений, температур, механических ускорений и деформаций, а также их влияние друг на друга. Передаваемая информация позволяет выявить места больших коэффициентов нагрузок и в виртуальном режиме просмотреть и оценить различные варианты их снижения в результате внесения тех или иных изменений в схему и конструкцию ЭС.

Таким образом, цель виртуальных испытаний ЭС путём вычислительного эксперимента — определить электрические выходные характеристики и нагрузки на электронные компоненты при их функционировании в различных условиях будущей эксплуатации. Наряду с этим определяется выполнение требований как к выходным характеристикам, так и к нагрузкам при электрических, тепловых, механических и других физических воздействиях на электронные компоненты и материалы несущих конструкций. Выходные характеристики должны удовлетворять требованиям технического задания на ЭС, а нагрузки на электронные компоненты и материалы не должны превышать предельно допустимые значения, указанные в технических условиях.

В данной работе предлагается физические испытания ЭС заменить виртуальными, применяя математические модели различных физических процессов, протекающих в схемах и конструкциях в результате полезных входных электрических воздействий и всегда присутствующих при эксплуатации ЭС внешних воздействий.

Метод виртуальных испытаний ЭС определяет последовательность проведения взаимосвязанных иерархических вычислительных экспериментов с помощью специализированного программного обеспечения. В состав этого программного обеспечения входят программы моделирования электрических, тепловых, механических и аэродинамических (гидравлических) процессов, протекающих в ЭС.

Результаты каждого этапа вычислительного эксперимента заносятся в специальную базу данных. В дальнейшем при анализе их совокупного влияния друг на друга проектировщик может найти наилучший путь совершенствования ЭС, при котором одновременно наилучшим образом будут удовлетворяться требования к выходным электрическим характеристикам и обеспечиваться достаточные запасы по физическим нагрузкам на электронные компоненты и материалы несущих конструкций.

Анализ основных характеристик пакетов прикладных программ, применяемых в процессе разработки ЭС, показывает, что в наибольшей степени адаптированной к задачам виртуальных испытаний ЭС является система АСОНИКА [3, 4]. К преимуществам этой системы следует отнести:

наличие моделей и алгоритмов, позволяющих при проведении виртуальных испытаний учесть особенности конструктивной реализации ЭС и широкий спектр воздействий дестабилизирующих факторов на специальную аппаратуру вплоть до космической (большие перепады температур, вакуум среды, воздействие ионизирующих частиц различного характера и др.);

расширенный ряд аэродинамических и гидравлических моделей, позволяющих исследовать при виртуальных испытаниях различные варианты защиты стоечных и блочных конструкций ЭС от повышенных температурных воздействий;

возможность при виртуальных тепловых испытаниях в алгоритмах автоматического

или полуавтоматического синтеза моделей учитывать конструкторско-технологические решения, характерные для специальной аппаратуры ответственного назначения, например такие, как нетиповые способы компоновки конструкций высших уровней иерархии (введение термостатирующих межэтажных плит, установка специальных панелей-теплостоков, ответвлений воздуховодов и т. п.). Это, в свою очередь, даёт возможность в полной мере исследовать электрические характеристики, корректно проводить совместное моделирование аэродинамических, гидравлических и тепловых процессов, а также тепловых и механических процессов в ЭС;

наличие для виртуальных механических испытаний широкого ряда типовых конструктивных решений, а также возможности исследования произвольных объёмных конструкций ЭС. Также при отсутствии в справочниках значений физико-механических параметров материалов ЭС или их недостаточной информационной достоверности имеется возможность проведения идентификации этих параметров для повышения точности получаемых результатов.

С усложнением ЭС получение адекватных виртуальных моделей многокомпонентных электронных шкафов и блоков в целом становится проблематичным. В этом случае при виртуальных испытаниях рекомендуется проводить поэтапное иерархическое исследование (рис. 1).

Вначале проводятся виртуальные электрические испытания ЭС путём математического моделирования электрических эквивалентных схем с помощью программ, имеющихся на предприятии. В процессе моделирования переходят от более низкого уровня иерархии к более высокому (модули — устройства — комплексы — система), как показано в левой части рис. 1. Полученные результаты на каждом этапе проходят проверку на соответствие требованиям к выходным характеристикам для частных технических заданий и к нагрузкам по токам, напряжениям и мощностям тепловыделений для каждого электронного компонента.

Во время моделирования схем с эквивалентными моделями электронных компонентов необходимо наблюдать на мультимониторной установке и оценивать влияние различных значений паразитных сопротивлений, ёмкостей и индуктивностей электронных компонентов, а также возможных внешних электромагнитных воздействий. Виртуальная картина влияний позволяет выявить неблагоприятные сочетания основных, паразитных и внешних воздействий, которые можно ликвидировать, продолжая исследования при внесении изменений в электронные компоненты или в режимы их работы.

Мощности тепловыделений каждого иерархического уровня являются входной информацией для проведения соответствующего этапа виртуальных тепловых испытаний.

При натурных испытаниях проводится проверка каждого разработанного печатного узла (ПУ) на соответствие его выходных электрических, тепловых и механических характеристик значениям, заданным в техническом задании. Для этого в отдельных точках устанавливаются тепловые и механические датчики для контроля температур и механических ускорений в данных точках. К сожалению, при этом можно не обнаружить наиболее нагретые места конструкции и электронные компоненты.

Недостатком натурных тепловых испытаний является необходимость предварительного изготовления опытных образцов блоков и ПУ, входящих в шкаф, со всеми электронными компонентами для получения адекватных результатов испытаний [5]. В отличие от этого при виртуальных тепловых испытаниях путём моделирования шкафа в соответствии с иерархическим подходом (см. правую часть рис. 1) на первом этапе требуется только знание суммарной мощности тепловыделений в каждом блоке, входящем в шкаф. Мощность тепловыделений в каждом блоке, в свою очередь,

Рис. 1. Метод виртуальных испытаний ЭС

является суммой тепловыделений на каждом ПУ, входящем в его состав. И наконец, мощность тепловыделения в каждом ПУ — это сумма тепловыделений всех электронных компонентов, расположенных на данном ПУ. Передача мощностей тепловыделений между электрическими и тепловыми испытаниями на каждом уровне иерархии испытаний на рис. 1 показана широкими горизонтальными стрелками, направленными слева направо.

В результате виртуального теплового испытания электронного шкафа получаются средние температуры каждого блока, а также всех воздушных объёмов внутри шкафа. Эти данные являются входной информацией для второго этапа тепловых испытаний ЭС, на котором проводится серия испытаний каждого блока, входящего в шкаф. Таким образом, получаются средние температуры каждого модуля, ПУ и средние температуры всех воздушных объёмов, расположенных в блоках.

Эти данные, в свою очередь, являются исходными данными для третьего этапа испытаний ЭС, на котором проводится серия испытаний каждого ПУ или модуля. В результате получаются температуры корпусов всех электронных компонентов, расположенных на всех ПУ, входящих в ЭС.

Подученные данные в виде единого файла температур передаются в подсистему формирования карт рабочих режимов АСОНИКА-Р. Фактическое значение температуры корпуса для каждого электронного компонента записывается в соответствующую ячейку (рис. 2). Справа от этого значения, во втором столбце, для каждого электронного компонента в карте рабочих режимов записывается максимально допустимое значение температуры его

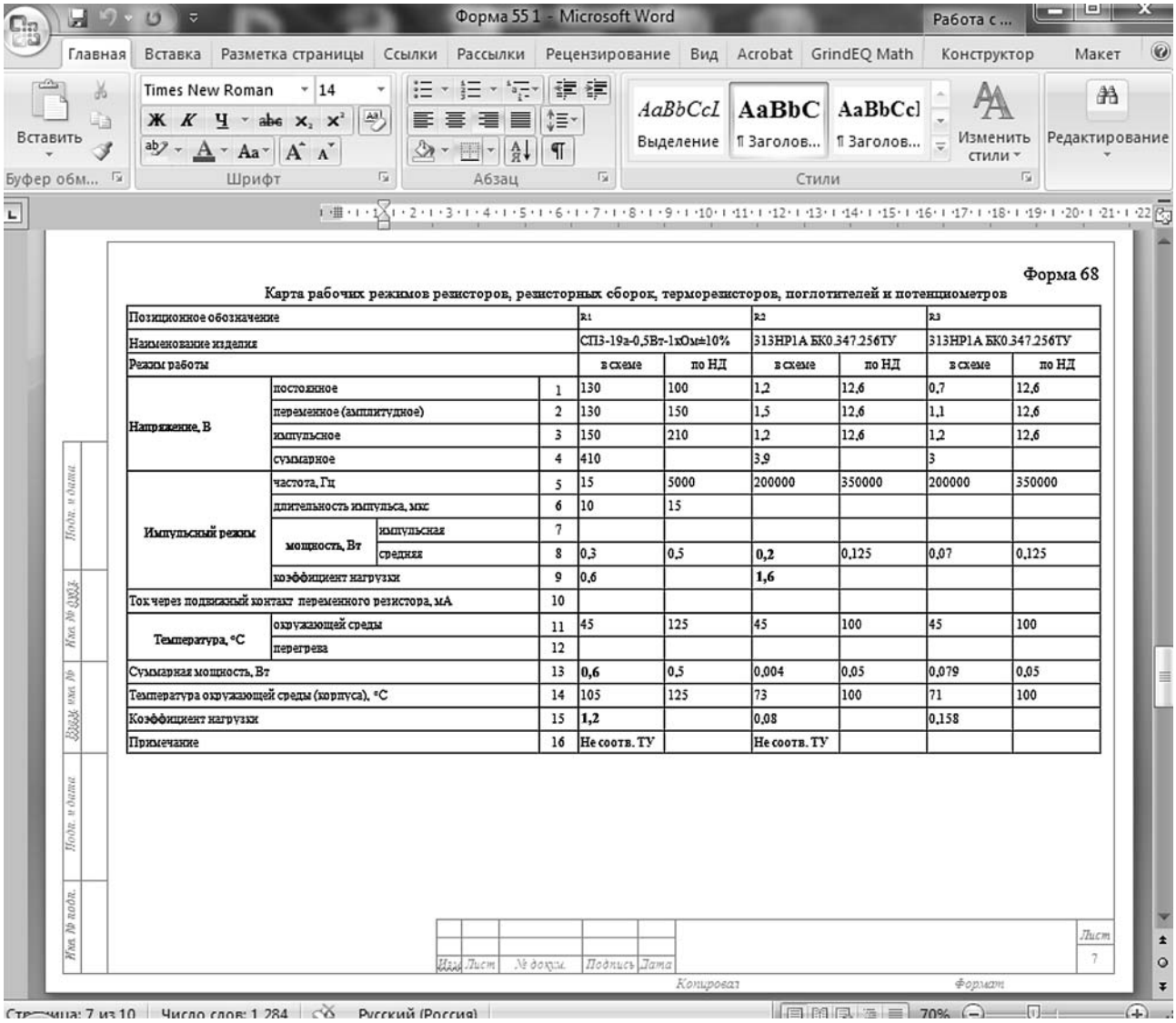

Рис. 2. Пример карты рабочих режимов электронных компонентов

корпуса, которое автоматически загружается из базы данных значений. База данных содержит все данные технических условий (нормативной документации) для электронных компонентов. Перед этим в карты режимов были записаны фактические и предельные значения электрических параметров для этих же электронных компонентов.

В карте режимов красным цветом (на рис. 2 — жирным шрифтом) автоматически выделяются значения, которые не укладываются в предельно допустимые диапазоны. При их наличии внизу, в 16-й строке, появляется надпись: «Не соответствует ТУ».

На рис. 3 приведён пример визуализации на мультимониторной установке результатов виртуальных испытаний. При вычислительном эксперименте с блоком передачи данных для электрических испытаний ПУ модуля питания использовали программу MicroSim Schematics (см. рис. 3, слева вверху). Для тепловых испытаний ПУ модуля питания — подсистему АСОНИКА-ТМ (см. рис. 3, слева внизу). Для механических испытаний блока в целом и получения графика ускорений в контрольных точках крепления ПУ внутри блока использовали подсистему АСОНИКА-М (см. рис. 3, справа вверху и внизу).

Такой подход к виртуализации испытаний позволяет на ранних этапах проектирования ЭС провести анализ нагрузок на всех электронных компонентах и всех материалах несущих конструкций (стеклотекстолитах ПУ, алюминиевых сплавах кронштейнов и стенок блока и других материалах деталей, из которых сделаны шкафы) [6, 7]. При обнаружении недопустимых нагрузок появляется возможность своевременно внести изменения в конструкцию шкафа, блока или ПУ и предусмотреть, если это необходимо, эффективную систему отвода тепла или воздушного охлаждения.

Виртуальные испытания также служат эффективным средством выявления нарушений требований к значениям нагрузок электронных компонентов и частей несущих конструк-

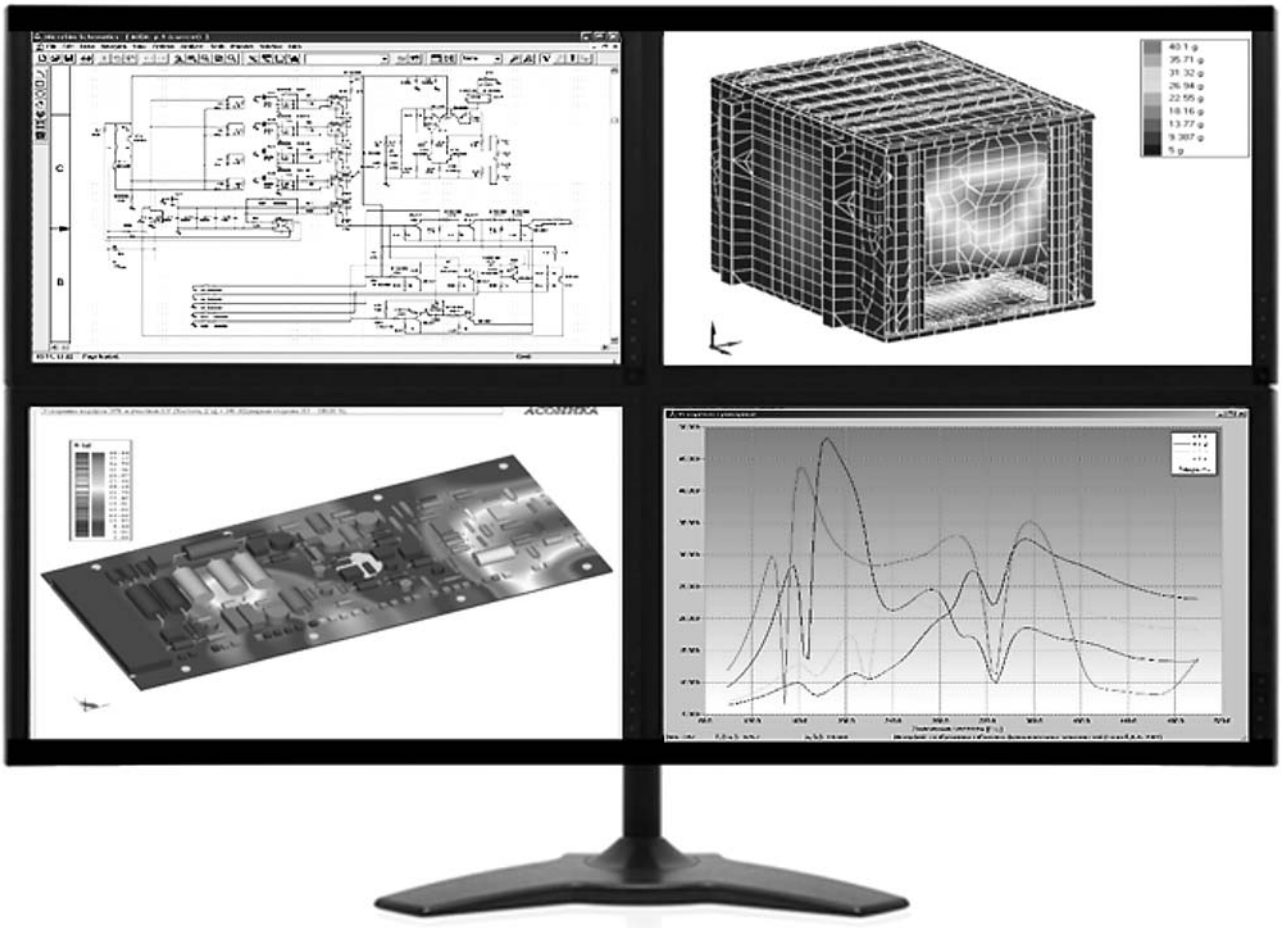

Рис. 3. Результаты виртуальных испытаний блока питания на мультимониторной установке:
вверху — модель электрических процессов для электрических испытаний и поле ускорений блока; внизу — тепловое поле печатного узла и график ускорений в контрольных точках блока

ций, которые могут привести к отказам из-за скрытых дефектов материалов электронных компонентов и конструкции, не обнаруживаемых методами технического контроля.

При подготовке натурных испытаний также имеется возможность проанализировать полученные виртуально изменения температуры или механического напряжения в месте конструкции, где крепится датчик температуры или ускорений.

Таким образом, виртуальные испытания позволяют определить места, где ожидаются наибольшие значения температур и механических напряжений или ускорений, для контроля изменений запасов этих величин по сравнению с предельно допустимыми значениями. В этих местах размещаются соответствующие датчики при натурных испытаниях.

После проведения натурных испытаний опытных образцов следует оценить погрешности электрических параметров, температур и механических ускорений электронных компонентов, полученных при виртуальных и физических испытаниях. При существенной разнице между результатами виртуальных и физических испытаний требуется проанализировать её причину. При таком анализе могут быть выявлены неточности в построении математических моделей или нарушения в проведении физических испытаний (например, недостаточная затяжка гаек при закреплении ПУ в блоке приводит к значительному сдвигу как резонансных частот, так и значений ускорений на этих частотах). Отклонения от программы проведения физических испытаний не только приводят к необходимости их повторения после устранения причин нарушения, но и заставляют принять меры по недопущению таких ситуаций в испытаниях при разработке новых изделий.

Таким образом, разработан метод виртуальных испытаний, который на ранних этапах проектирования даёт возможность проверить технические выходные характеристики и запасы по нагрузкам при физических воздействиях на электронные компоненты (мощности тепловыделений, температуры, ускорения вибраций, ударов и пр.) и на несущие конструкции (деформации, механические напряжения и др.). При этом также проверяется выполнение требований к выходным характеристикам, указанных в техническом задании.

Статья подготовлена в ходе проведения работы (проект № 17-01-0105) в рамках Программы «Научный фонд Национального исследовательского университета «Высшая школа экономики» (НИУ ВШЭ)» в 2017 — 2018 гг. и государственной поддержки ведущих университетов Российской Федерации «5-100».

Библиографические ссылки

1. **Аппаратно-программный** комплекс автоматизированного проектирования, обеспечения виртуализации испытаний и стойкости к воздействию дестабилизирующих факторов при эксплуатации РЭА / Н.В. Малютин, О.Ю. Мартынов, А.С. Шалумов, Ю.Н. Кофанов // Виртуализация проектирования и испытаний электронной аппаратуры: Труды ОАО «Научно-исследовательский центр электронной вычислительной техники». М.: Радиотехника, 2011. С. 7—11.

2. **Сотникова С.Ю., Кофанов Ю.Н., Увайсов С.У.** Разработка метода комплексирования физической модели с моделями протекающих электрических, тепловых и механических процессов // Инновационные информационные технологии. 2012. № 1. С. 434—436.

3. **Кофанов Ю.Н., Шалумов А.С., Шалумов М.А.** АСОНИКА — современный инструмент автоматизации моделирования электроники на внешние воздействия // Автоматизация. Современные технологии. 2017. Т. 71. № 3. С. 106—112.

4. **Шалумов А.С., Кофанов Ю.Н., Малютин Н.В., Носков В.Н.** Создание интегрированной системы автоматизированного проектирования и комплексного компьютерного моделирования высоконадёжной радиоэлектронной аппаратуры в рамках CALS-технологий // EDA Express. 2005. № 11. С. 9.

5. **Тихонов А.Н., Увайсов С.У., Кофанов Ю.Н., Сотникова С.Ю.** Повышение достоверности диагностического моделирования в информационной технологии проектирования электронных средств управления // Системы управления и информационные технологии. 2014. Т. 58. № 4. С. 88—92.

6. **Кофанов Ю.Н., Сарафанов А.В., Воловиков В.В.** Метод информационной поддержки ранних стадий проектирования радиоэлектронной аппаратуры // Информационные технологии в проектировании и производстве. 2003. № 3. С. 51—56.

7. **Макаров И.М., Рахманкулов В.З., Ахрем А.А.** Виртуальное моделирование и интеллектуальное управление сложными компьютерно-интегрированными системами // Информационные технологии и вычислительные системы. 2007. № 2. С. 11—24.

Уважаемые читатели!

Подписку можно оформить в любом почтовом отделении по каталогу:

«Пресса России» — индекс **27838.**

УДК 539.122.2

С.Н. Григорьев-Фридман
(Нижегородский университет им. Н.И. Лобачевского,
ФИЦ «Институт прикладной физики» РАН, г. Нижний Новгород,
НП «Нижегородский региональный центр наноиндустрии)

sergey-fridman@mail.ru

ПРИМЕНЕНИЕ ЛАЗЕРНОГО ДИОДА В МОБИЛЬНОЙ АТМОСФЕРНОЙ ЛАЗЕРНОЙ СВЯЗИ

Предложен технологически простой и надёжный оптически-лазерный способ передачи и приёма закодированной информации между экипажами самолётов, вертолётов, надводных кораблей и подводных лодок в режиме «радиомолчания» с применением лазерного диода.

Ключевые слова: оптический диапазон; режим «радиомолчания»; лазерный диод; инверсия; активная среда; фотон; электромагнитная волна; лазерный луч; фокусирующая линза; непрозрачный отражательный диск; параболическое фокусирующее зеркало; полупрозрачное стекло; фотодатчик; фототранзисторная матрица; лазерное излучение; длина волны; частота сигнала.

A technologically simple and reliable optical laser method for transmitting and receiving encoded information between crews of aircraft, helicopters, surface ships and submarines in the «radio silence» mode by using a laser diode is proposed.

Keywords: optical range; «radio silence» mode; laser diode; inversion; active medium; photon; electromagnetic wave; laser ray; focusing lens; opaque reflective disc; parabolic focusing mirror; semitransparent glass; photo sensor; phototransistor matrix; laser radiation; wavelength; signal frequency.

Введение. Данная статья посвящена развитию идеи российских учёных в области прикладного применения специальной лазерной техники в авиации и на флоте, предложенной впервые в мире в работе [1]. Актуальность этой идеи состоит в следующем. Сама лазерная связь применяется в открытом космическом пространстве относительно давно и успешно, но её применение в плотных слоях земной атмосферы и в воде было сопряжено с существенными технологическими трудностями, а также мало изучено в теоретической основе. Своевременная реализация такой связи и её успешные испытания в ограниченном контингенте вооружённых сил России в Сирии продемонстрировали научно-технический прорыв российских учёных в этой области.

В России [1—12] и за рубежом [13—15] существует значительное число аналогов, использующих разнообразные типы и способы лазерной связи как в открытом космосе, так и в плотных слоях атмосферы Земли, а также в сложных метеорологических условиях. Все эти аналоги имеют общие недостатки: высокую сложность, а порой громоздкость, большую массу, некорректную работу при интенсивной облачности из-за применения очень мощных лазерных установок, которые для того чтобы «пробить» толстые и оптически плотные слои земной атмосферы, озона и др., вынуждены уменьшать частоту, т. е. увеличивать длину поперечной электромагнитной волны при индуцированном когерентном излучении фотонов в лазерах. Тем самым противнику раскрываются точные координаты местонахождения, длина и частота электромагнитной волны лазерных установок, на которых работает современная аппаратура связи и приёма информации. При этих типах и способах лазерной связи расходуется огромное количество электроэнергии, в силу чего себестоимость такой связи на порядок выше, чем при использовании классической антенно-фидерной формы передачи и приёма информации. Поэтому такая связь является весьма нерентабельной и неконкурентоспособной.

Напрашивается вывод — ВКС РФ необходимо переходить с радиочастот, «засекаемых» вражескими радиолокационными станциями (РЛС) слежения и наведения, на оптический диапазон электромагнитных волн инфракрасного (ИК) излучения, которые пока невозможно обнаружить даже с помощью специальных РЛС-, СВЧ- и КВЧ-диапазонов.

Анализ решения технических проблем. Основной отличительной особенностью новой конструкции переговорного устройства в отличие от прежней, предложенной в [1], являет-

ся возможность успешно использовать монохроматическое когерентное излучение лазера узконаправленного действия, выполненного на основе лазерного диода, вместо обычной плоской электромагнитной волны ТЕМ-типа в воздушном пространстве.

Экспериментально установлено, что с уменьшением длины волны (увеличением частоты) резко возрастают интенсивность и мощность луча лазерного диода. При дальнейшем увеличении частоты излучения лазерного диода или уменьшении длины волны начинают резко сказываться дисперсионные явления, при которых длина волны излучения лазерного диода становится соизмеримой с геометрическими размерами атомно-молекулярной структуры препятствий или внешней среды, сквозь толщу которых и проникает электромагнитная волна лазерного излучения. В итоге наблюдается резкое снижение эффективной мощности лазерного излучения ввиду ярко выраженного рассеяния узкого когерентного лазерного пучка фотонов в форме расходящегося сферического конуса Тиндаля, светящегося в окружающем пространстве. При этом замечено, что при длине волны $\lambda = 380...780$ нм и ниже можно наблюдать природную картину свечения траектории лазерного луча. Следовательно, станции наземного, воздушного, надводного, подводного базирования и, особенно, спутников-шпионов в состоянии «засечь» постоянные или временные координаты продольной составляющей траектории лазерного луча, характер, тип, интенсивность, продолжительность связи и даже декодировать зашифрованную информацию при её передаче лазерным лучом в момент сеанса оптической связи. Тем самым рассекречивается источник информации — лазерный передатчик, приёмник информации и сама «засвеченная» подсветкой луча траектория скольжения монохроматического когерентного лазерного излучения.

Турбулентность атмосферы приводит к искажениям волнового фронта и, следовательно, к колебаниям и уширению лазерного пучка и перераспределению энергии в его поперечном сечении. В плоскости приёмной антенны это проявляется в хаотическом чередовании тёмных и ярких пятен с частотой от долей герца до нескольких килогерц.

Одним из основных преимуществ лазерных систем связи является их большая пропускная способность. Другое преимущество — достаточная помехозащищённость, поскольку ИК-излучение не взаимодействует с радиоволнами. Опытным путём подтверждается, что между поперечной электромагнитной волной, излучённой в открытое воздушное пространство Земли обычной штыревой антенной, находящейся, например, в носовой части большинства самолётов, вертолётов, надводных судов и подводных лодок, а также между поперечной, электромагнитной волной, выпущенной обычным полупроводниковым лазерным диодом, используемым в переговорном устройстве, имеется существенная разница. В первом случае поперечная электромагнитная волна (назовём её «штыревой») будет обязательно взаимодействовать с другими радиоволнами. Во втором случае поперечная электромагнитная волна «лазерного» типа не взаимодействует ни с какой из радиоволн, и даже с лазерной волной, распространяющейся в эфир, атмосферное пространство Земли и космос, но с другой частотой и, соответственно, на иной длине волны, отличной от 955 нм, использующейся в новом переговорном устройстве [1].

Численное моделирование электродинамических процессов и распространения поперечных электромагнитных волн в ближней и средней (тепловой) зонах ИК-диапазона показало, что когерентный лазерный луч имеет практически прямолинейную траекторию движения фотонов в зоне прямой видимости при условии, что в окружающем пространстве на расстоянии уверенного приёма и передачи информации, с 1...10 км, нет каких-либо серьёзных препятствий. При наличии лобового сопротивления в виде плотной среды, газов, дыма, загрязнений, аэрозолей, пыли, песчаных бурь, густого тумана, широкого и глубокого фронта осадков в виде крупных хлопьев снега прямолинейная траектория лазерного луча трансформируется в параболическую линию. Параболическая форма траектории движения излучаемых фотонов следует из наличия в атмосфере Земли таких факторов, как поглощение и рассеяние мощности лазерного луча молекулами газов, ослабление излучения на аэрозолях и его флуктуации на турбулентностях тёплого и холодного воздушных потоков. В немалой степени образованию оптической кривизны лазерного луча способствуют многократные преломления в плотных слоях земной атмосферы и неоднородных препятствиях.

С учётом изложенного предлагается в конструкции устройства лазерной связи использовать полупроводниковый лазерный диод

на основе арсенида галлия (GaAs) и арсенида алюминия галлия (GaAlAs). При этом одним из обязательных условий является то, чтобы длина волны конструкции спроектированного лазерного диода полностью входила в «окна прозрачности» атмосферы Земли [1].

Источником генерации лазерного луча является полупроводниковый лазерный диод, который с помощью блока АЦП—ЦАП управляет и регулирует выходные импульсы в режимах амплитудной модуляции (АМ) с коэффициентом модуляции m = 30...100 % и фазочастотной модуляции (FM). Чаще всего импульсное управление приёмом-передачей закодированной информации в момент оптической связи осуществляется в микро- и наносекундном диапазонах (в исключительных случаях и в пикосекундном диапазоне).

Наиболее близким по технической сущности и достигаемому результату к предлагаемой в [1] конструкции является бортовое передающее устройство лазерной системы передачи информации, защищённой патентом [2], принятое за ближайший аналог (прототип). Недостатками этого устройства являются технологическая сложность, большие масса и внешние габариты, относительно большое потребление электроэнергии, высокая себестоимость сеансов лазерной связи, существенные затруднения при работе в условиях интенсивной облачности, различных осадков, загрязнения и повышенного уровня задымлённости, плотных слоёв атмосферы Земли, наличия различных газов, шквалистого ветра с хлопьями снега, дождём, при наличии различных космических объектов, например метеоров, а также крайне низкая степень засекречивания и конфиденциальности передачи и приёма закодированной информации.

В передающем устройстве, приведённом в [1], на базе полупроводникового лазерного диода указанные недостатки устранены. Его использование позволяет повысить эффективность и надёжность связи при интенсивной облачности, различных видах осадков в виде снега, дождя, густого тумана и т.п., а также защищённость и скрытность передаваемой закодированной информации в момент осуществления сеанса оптическо-лазерной связи.

Принцип работы мобильной атмосферной лазерной связи с применением лазерного диода. Схема и принцип работы переговорного устройства представлены на рисунке.

Между компьютером (ЭВМ) *1*, монитором *2*, микрофоном *3*, блоком входного трёхкаскадного усилителя НЧ *4*, блоком оконечного двухконтактного усилителя мощности *5*, разделительным конденсатором, коммутирующим устройством-ключом VT1 *8*, переменным регулировочным резистором *9*, источником постоянного напряжения *10*, стабилизатором постоянного напряжения *11* и регулируемым коллиматором *21* выполнена односторонняя связь по обмену данными и определению временной неработоспособности, утечки и потери информации по каждому из перечисленных выше блоков через блок многоканального АЦП—ЦАП *6*. Также между компьютером, регулируемым коллиматором, блоком оптического стабилизатора точного наведения и горизонтально-вертикального положения в пространстве и блоком самонаведения и удержания цели по лазерному лучу в ИК-диапазоне электромагнитных волн выполнена постоянная двусторонняя связь по обмену данными через блок многоканального АЦП—ЦАП.

Между компьютером (ЭВМ) *1* и блоком АЦП—ЦАП *6* выполнена обратная связь для анализа и амплитудно-частотной коррекции выходных импульсов управления, позволяющая программному обеспечению оперативно регулировать тактовую частоту следования управляющих импульсов, поступающих из блока АЦП—ЦАП *6* на затвор коммутирующего устройства-ключа VT1 *8*.

Блок входного трёхкаскадного усилителя НЧ содержит входной предварительный усилитель видеосигналов, а также блок специального кодера цветного изображения; коммутирующее устройство-ключ изготовлено на базе полевого транзистора VT1 отечественной марки 2П769А9 или 2П7229А (2П7229А5).

Регулировочный переменный резистор выполнен на базе потенциометра RP1 или постоянного, проволочного резистора типа МЛТ-0,5, МЛТ-0,25 для ограничения предельного значения тока питания коммутирующего устройства — полевого транзистора VT1. Источник постоянного напряжения ($E_к$ = +1,5...+3,0 В) спроектирован по схеме стабилизатора напряжения или содержит 1—2 пальчиковые батарейки. Стабилизатор постоянного напряжения ($U_{стаб}$ = (+5 ± 0,25) В) выполнен на базе интегральной микросхемы российского производства марки К142ЕН5А, К142ЕН8В или К1234ЕН3. Общее питание осуществляют от источника постоянного напряжения, например от бортового источника постоянного напряжения самолёта или корабля

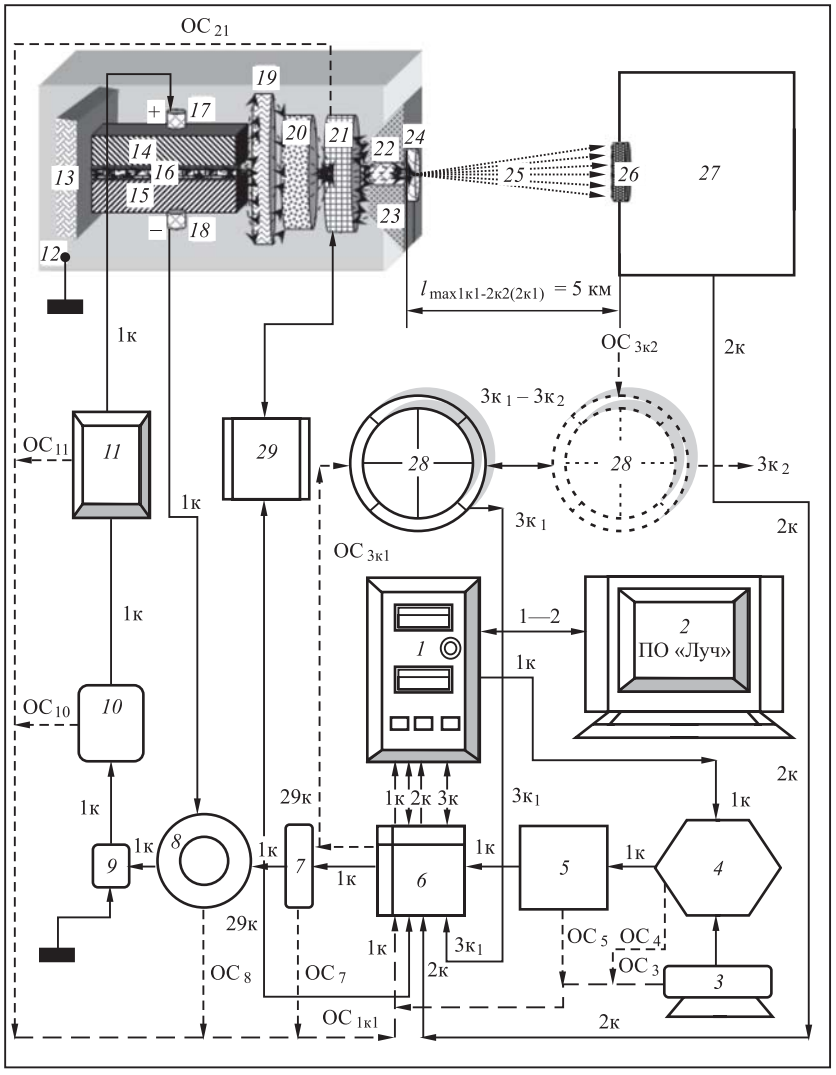

Схема и принцип работы мобильной атмосферной лазерной связи с применением лазерного диода:

1 — компьютер (ЭВМ); *2* — монитор; *3* — микрофон; *4* — блок входного трёхкаскадного усилителя низкой частоты (НЧ); *5* — блок оконечного двухконтактного усилителя мощности — блок-УМ; *6* — блок многоканального АЦП—ЦАП; *7* — разделительный конденсатор С1; *8* — коммутирующее устройство-ключ VT1; *9* — переменный регулировочный резистор; *10* — источник постоянного напряжения; *11* — стабилизатор постоянного напряжения; *12* — корпус полупроводникового лазерного диода; *13* — непрозрачный отражательный диск; *14* — верхняя гетероструктура на основе полупроводникового кристалла из арсенида галлия; *15* — нижняя гетероструктура на основе полупроводникового кристалла из арсенида алюминия-галлия; *16* — сверхтонкий средний слой p—n-перехода; *17* — анод полупроводникового лазерного диода; *18* — катод полупроводникового лазерного диода; *19* — оптический фильтр (полупрозрачное стекло); *20* — фокусирующая линза; *21* — регулируемый коллиматор (устройство, необходимое для собирания и фокусировки расходящихся лучей фотонов в узкий параллельный главной оптической оси пучок фотонов); *22* — узкое отверстие, в котором размещается выходная оптическая система на основе собирающей, фокусирующей микролинзы; *23* — поглотитель фотонов, двигающихся не по прямой оптической линии; *24* — нерегулируемый стационарный коллиматор; *25* — монохроматический луч лазерного излучения; *26* — светящееся пятно лазерной подсветки (только в ИК-диапазоне электромагнитных волн); *27* — светочувствительный фотодатчик; *28* — блок оптического стабилизатора точного наведения и горизонтально-вертикального положения в пространстве; *29* — блок самонаведения и удержания цели по лазерному лучу в ИК-диапазоне электромагнитных волн

($U_{\text{борт.сети}}$ = + 27 В), через понижающий трансформатор или автотрансформатор.

Непрозрачный отражательный диск выполнен в форме параболического фокусирующего зеркала. Оптический фильтр изготовлен из полупрозрачного стекла. Фокусирующая линза может быть, например, из высококачественного стекла.

Светочувствительный фотодатчик выполнен в виде фотоприёмной матрицы на базе высокочувствительного фотодиода марки ФД256 или составного (трёхкаскадного) фототранзистора, указанных выше марок на основе ФТ-К.

Блок оптического стабилизатора точного наведения и горизонтально-вертикального положения в пространстве разработан на основе гироскопной технологии.

Блок самонаведения и удержания цели по лазерному лучу в ИК-диапазоне электромагнитных волн может быть изготовлен, например, на основе системы (головки) самонаведения прототипов переносных зенитно-ракетных комплексов (ПЗРК): американского Stinger марки «FIM-92», российского «Игла-1» или новейшего российского ПЗРК «Верба».

Полупроводниковый лазерный диод VD1 содержит корпус, в котором на одной оптической оси установлены непрозрачный отражательный диск, двойная гетероструктура из полупроводниковых кристаллов арсенида галлия и арсенида алюминия-галлия со сверхтонким средним слоем p—n-перехода между ними, оптический фильтр, фокусирующая линза, регулируемый коллиматор. За коллиматором находится узкое отверстие, в котором размещаются выходная оптическая система на основе собирающей, фокусирующей микролинзы, поглотитель и рассеиватель фотонов, двигающихся не по прямой оптической линии, нерегулируемый стацио-

нарный коллиматор и светочувствительный фотодатчик *27*, отстоящий от лазерного диода на расстоянии 5...10 км.

Блок самонаведения и удержания цели по лазерному лучу в ИК-диапазоне электромагнитных волн установлен между регулируемым коллиматором и блоком АЦП—ЦАП.

Предлагаемое устройство мобильной атмосферной лазерной связи работает следующим образом. Сеанс связи в режиме передачи и приёма закодированной информации или сообщения осуществляют в условиях только прямой оптической связи, в невидимой части спектра поперечных электромагнитных волн (чаще всего в ИК-диапазоне). За редким исключением возможен ультрафиолетовый (УФ) диапазон, который неприменим в среде озонового слоя атмосферы Земли из-за сильного поглощения волн средой озона. Информационный сигнал может быть закодирован программой, являющейся основным программным обеспечением (ПО) в программном комплексе радиомолчания «Луч», организационно собранном из компьютера (ЭВМ) и монитора. Далее специальным военным кодером-шифровальщиком информационный сигнал передаётся в блок входного трёхкаскадного усилителя НЧ, в котором также может находиться входной предварительный усилитель видеосигналов, а также блок специального кодера цветного изображения. Следует иметь в виду, что сами военные лётчики и моряки вправе передавать свою отдельную информацию в виде НЧ-радиосигнала через обычный микрофон (в случае заражения вирусом программного обеспечения, «зависания» или непредвиденного сбоя в автоматическом режиме и экстренного перевода программного комплекса «Луч» в ручной режим работы). Он также передаётся в блок специального кодера-шифровальщика секретной информации, располагающийся в блоке предварительного входного усилителя НЧ. Радиосигнал из блока предварительного входного усилителя НЧ передаётся в блок оконечного двухтактного усилителя мощности, где он усиливается как аналоговый сигнал до своего максимально-номинального уровня, и затем поступает в многоканальный блок АЦП—ЦАП для преобразования в цифровой формат, необходимый для формирования импульсов управления и последующей их передачи через разделительный конденсатор на управляющий электрод — затвор коммутирующего устройства-ключа, выполненного, например, на основе полевого транзистора VT1. Между блоком многоканального АЦП—ЦАП и компьютером выполнена обратная связь (ОС) для анализа и амплитудно-частотной коррекции выходных импульсов управления, позволяющая ПО «Луч» оперативно регулировать тактовую частоту следования управляющих импульсов, поступающих из многоканального блока АЦП—ЦАП на затвор коммутирующего устройства-ключа. Анализ и постоянный контроль нормальной работы и номинального функционирования основных узлов и блоков, входящих в устройство, предусматриваются за счёт взаимной обратной связи основных блоков ($ОС_3$, $ОС_5$, $ОС_7$, $ОС_8$, $ОС_{10}$, $ОС_{11}$ и $ОС_{21}$) с ПО «Луч», компьютером (ЭВМ) и монитором через блок многоканального АЦП—ЦАП.

В корпусе полупроводникового лазерного диода устанавливают слева непрозрачный отражательный диск, к которому справа монтируют верхнюю гетероструктуру на основе полупроводникового кристалла из арсенида галлия и нижнюю гетероструктуру на основе полупроводникового кристалла из арсенида алюминия-галлия. Между верхней и нижней гетероструктурами, каждая из которых состоит из отдельного полупроводникового кристалла, расположена промежуточная зона, состоящая из сверхтонкого среднего слоя p—n-перехода лазерного диода. Анод и катод полупроводникового лазерного диода располагаются соответственно на верхней и нижней полупроводниковых гетероструктурах. В едином корпусе лазерного диода размещают выходную оптическую систему на основе оптического фильтра (полупрозрачного стекла), собирающей, фокусирующей линзы, а также регулируемого коллиматора; узкое отверстие, в котором находятся выходная оптическая система на основе собирающей, фокусирующей микролинзы; поглотитель и рассеиватель фотонов, двигающихся не по прямой оптической линии; нерегулируемый стационарный коллиматор, через который испускается в окружающее пространство монохроматический когерентный луч лазерного излучения. Лазерный когерентный узконаправленный пучок фотонов имеет длину волны, близкую к так называемым «окнам прозрачности» в плотных слоях атмосферы, например 955 нм. Он невидим для человеческого глаза и может быть обнаружен только с помощью специальной радиотехнической аппаратуры связи и точной нелинейной оптики.

Частота этого лазерного излучения с закодированным секретным сообщением синхронизирована с тактовой частотой следования управляющих импульсов, поступающих на затвор коммутирующего устройства-ключа VT1 из блока АЦП—ЦАП. Интенсивность, инверсность, мощность и сила лазерного излучения сильно зависят от диапазона рабочих частот входного сигнала. Для повышения быстродействия и уменьшения времени задержки фронтов импульсов современные фототранзисторы чаще всего изготавливаются на основе диодов Шоттки. Монохроматический когерентный луч лазерного излучения доносит зашифрованную секретную информацию от лазерного передатчика до своего абонента в виде пульсирующих вспышек, которые регистрируются в форме светящегося в ИК-диапазоне пятна лазерной подсветки, находящегося на поверхности светочувствительного фотодатчика, выполненного, например, в виде фотоприёмной матрицы на базе высокочувствительного фотодиода или составного (трёхкаскадного) фототранзистора.

Блок АЦП—ЦАП является многоканальным преобразователем и «переводчиком» поступающих сигналов из аналогового формата в цифровой и обратно с последующей передачей в компьютер (ЭВМ), где программы по обработке входных данных в цифровом формате ПО «Луч» выполняют анализ, сравнение и амплитудно-частотную коррекцию импульсов управления для последующей передачи необходимых команд в третий канал — между блоком оптического стабилизатора точного наведения и горизонтально-вертикального положения в пространстве лазерного передатчика и приёмником информации — абонентом связи.

Аналоговый сигнал поступает из оптического датчика регулируемого коллиматора в блок самонаведения и удержания цели по лазерному лучу в ИК-диапазоне электромагнитных волн и одновременно получает команды внешней системы обнаружения и целеуказания, коррекции команд с помощью управляющих импульсов, поступающих из блока АЦП—ЦАП. Из-за сильного поглощения электромагнитных волн в озоновом слое атмосферы Земли и большой вероятности случайного облучения и поражения кожных покровов лётных экипажей применение блока самонаведения и удержания цели по лазерному лучу в УФ-диапазоне электромагнитных волн крайне нежелательно!

Следует помнить, что полупроводниковый лазерный диод VD1 последовательно запитывают от положительной клеммы питающего источника постоянного напряжения, через стабилизатор на анод, а его катод — отрицательная клемма — подсоединяется к истоку полевого транзистора VT1, представляющего собой коммутирующее устройство. Такой тип подачи напряжения на полупроводниковый лазерный диод называется прямым (положительным) смещением. Если же поменять местами полярность рабочего напряжения, то полупроводниковый лазерный диод будет запертым, так как для перехода через узкую запрещённую зону ΔW необходимо затратить большую энергию, чтобы преодолеть возросший потенциальный барьер в самой структуре p—n-перехода полупроводникового лазерного диода. Таким образом, узкая запрещённая (валентная) зона ΔW начинает резко увеличиваться и становится соизмеримой с двумя (верхней *14* и нижней *15*) более широкими запрещёнными зонами. Такая форма подачи рабочего напряжения называется обратным (отрицательным) смещением, которое будет запирающим для большинства современных полупроводниковых лазерных диодов.

Преимущество лазеров с двойной гетероструктурой состоит в том, что область сосуществования электронов и дырок («активная область») заключена в сверхтонком среднем слое. Предположительно это означает, что большая концентрация электронно-дырочных пар будет давать основной вклад в усиление коэффициента инжекции (лазерного излучения) фотонов ввиду того, что их меньшее количество останется на периферии, в области с низким усилением. Дополнительно свет будет отражаться от самих гетеропереходов, т. е. лазерное излучение будет целиком заключено в области с максимальным коэффициентом усиления. Таким образом, свет как бы будет зажат между двумя тесными и относительно длинными полупроводниковыми стенками—структурами сверхтонкого слоя p—n-перехода полупроводникового лазерного диода, находясь таким образом и многократно переотражаясь в оптическом волноводе. Толщина этого полупроводникового слоя, т. е. ширина узкой запрещённой валентной зоны, обычно составляет от нескольких микрометров до единиц ангстрем.

Напротив, в квантовых стабилитронах, основанных на технологии двойной гетерструктуры, основным рабочим напряжением

смещения будет как раз обратное (отрицательное) смещение, так как основным рабочим участком квантового стабилитрона на вольт-амперной характеристике считается её отрицательная ветвь. В итоге лазерный диод начинает мигать и излучать мощными импульсными вспышками в такт задающей тактовой частоте управляющих импульсов, поступающих из блока многоканального АЦП—ЦАП.

В предлагаемом переговорном устройстве возможно использование трёх лазерных каналов связи в ближней зоне ИК-диапазона электромагнитных волн:

канала передачи закодированной информации с помощью лазерного луча, от первого источника-передатчика ко второму приёмнику (1к);

канала приёма закодированной информации, поступающей с лазерного луча, от второго источника-передатчика к первому приёмнику (2к);

независимого, автономного канала оптической юстировки, точного наведения и соосности двух лазерных систем для постоянного обмена информацией в виде коротких импульсов, подтверждающих точные координаты взаимного расположения абонентов в пространстве, а также определения по системе кодирования и зашифрованного пароля «свой — чужой» принадлежности самолёта, беспилотного летательного аппарата или морского объекта (3к).

На самолётах, вертолётах, кораблях и подводных судах стабилизатор точного горизонтального и вертикального положения в пространстве устанавливают на одной балансирующейся плоскости, например на боковой обшивке корпуса самолёта или корабля, с остальными узлами переговорного устройства — полупроводниковым лазерным диодом и светочувствительным фотодатчиком. Все эти три узла рассредотачивают друг относительно друга на некотором расстоянии. В стационарном варианте устанавливают все три узла в одном месте, в одном корпусе. В мобильном варианте из-за вибрации и небольшой несоосности на момент фокусировки и юстировки лазерных лучей их устанавливают в разных местах корпуса самолёта или корабля.

Между блоком оптического стабилизатора точного наведения и горизонтально-вертикального положения в пространстве, выполненного на основе гироскопной технологии, компьютером (ЭВМ) с ПО «Луч» и монитором выполнена постоянно действующая связь путём преобразования аналогового сигнала в цифровой формат и обратно, через интерфейсный тип соединений. Компьютер (ЭВМ), с активным применением ПО «Луч» и монитора, осуществляет постоянный мониторинговый контроль и визуальную коррекцию видео- и аудиоинформации, поступающей в форме потока закодированных импульсов с определёнными последовательностью, амплитудой и частотой следования. При таких условиях оптическая связь наиболее эффективна, качественна и надёжна, без существенных искажений и затуханий, т. е. монохроматический когерентный луч лазерного диода точно попадает на светопоглощающую поверхность и зачернённые специальные стёкла светочувствительного фотодатчика с достаточно высокой степенью черноты и крайне низкой возможностью отражения лазерного луча обратно в окружающее пространство. При этом свечение и подсветка траектории движения лазерного луча от источника (лазерного диода) до фотоприёмной матрицы светочувствительного фотодатчика, выполненного, например, на базе высокочувствительного составного фототранзистора, не подсвечиваются в воздушном и водном пространствах.

Таким образом, использование в переговорном устройстве лазерного диода, генерирующего лазерный когерентный узконаправленный луч с длиной волны $\lambda = 955$ нм, близкой к максимальным значениям в «окнах прозрачности» в плотных слоях атмосферы, а также наличие блока оптического стабилизатора точного наведения и горизонтально-вертикального положения в пространстве и блока самонаведения и удержания цели по лазерному лучу в ИК-диапазоне электромагнитных волн способствуют повышению эффективности и надёжности работы переговорного устройства при интенсивной облачности, различных видах осадков: в виде снега, дождя, густого тумана и т. п., а поэтому обеспечивают повышение защищённости и скрытности передаваемой закодированной информации в течение сеанса лазерной связи.

Выводы:

1. Предложен технологически реализуемый лазерный способ передачи и приёма закодированной информации между экипажами самолётов, вертолётов, надводных кораблей и подводных лодок в режиме «радиомолчания»

с применением компактного и надёжного, легко управляемого лазерного диода.

2. Предложена апробированная модель применения лазерного полупроводникового диода в мобильной атмосферной лазерной связи для более эффективной защиты и обеспечения надёжной скрытности приёма или передачи закодированной секретной информации.

3. Разработанное устройство способно передавать и принимать на борт самолётов, вертолётов, надводных кораблей и подводных лодок закодированную секретную информацию с использованием в качестве несущей частоты частоты генерации лазерного диода.

4. В разработанном устройстве мобильной атмосферной лазерной связи используются относительно недорогие марки лазерных диодов отечественного производства.

5. Данный вариант мобильного переговорного устройства более энергосберегаемый по сравнению с вариантом, приведённым в [1], где используется мощный светодиод в качестве средства накачки и возбуждения твёрдотельного лазера.

6. В отличие от варианта мобильного переговорного устройства, в основу которого положено применение твёрдотельного лазера с оптической поперечной накачкой мощным светодиодом [1], в предлагаемой конструкции нового варианта мобильного переговорного устройства применён полупроводниковый лазерный диод на базе двойной гетероструктуры, на основе арсенида галлия и арсенида алюминия галлия. Этим решением добились более стабильной и надёжной работы лазерной связи, в отличие от первого варианта, который более инерционен в вопросах передачи и приёма закодированной информации. Время нарастания и спада фронта информационных импульсов уменьшилось в 10...12 раз. Значительно увеличилась степень синхронизации информационных импульсов с импульсами управления, поступающими на затвор коммутирующего устройства-ключа из многоканального блока АЦП — ЦАП. Тем самым существенно повысились качество и чёткость картины видеоинформации в режиме on line skype. Увеличились устойчивая дальность, надёжность и быстродействие атмосферной лазерной связи с 5 до 10 км (в хорошую погоду).

Библиографические ссылки

1. **Григорьев-Фридман С.Н.** Мобильное переговорное устройство в оптическом диапазоне в режиме «радиомолчания» // Автоматизация. Современные технологии. 2016. № 12. С. 6—14.

2. **Мальцев Г.Н., Буриков С.В.** Бортовое передающее устройство лазерной системы передачи информации // Патент России № 2365007 С1. 2009. Бюл. № 23.

3. **Крюкова И.В., Мармалюк А.А., Матвеенко Е.В.** и др. Перспективные полупроводниковые лазеры с мощностью излучения до 200 мВт для межспутниковых оптических линий связи // Вестник МГТУ им. Н.Э. Баумана. Сер. Приборостроение. 2002. № 3. С. 18—35.

4. **Крюкова И.В., Белов М.Л., Осипов А.В., Чуковский Н.Н.** Расчёт энергетических параметров лазерных излучателей для межспутниковых оптических линий связи и линий связи «Земля—спутник—Земля» // Вестник МГТУ им. Н.Э. Баумана. Сер. Приборостроение. 2002. № 3. С. 34—44.

5. **Крюкова И.В., Чуковский Н.Н.** Проблемы создания аппаратуры для межспутниковых и атмосферных оптических линий связи // Вестник МГТУ им. Н.Э. Баумана. Сер. Приборостроение. 2007. № 1. С. 9—23.

6. **Широбакин С.Е., Крюкова И.В., Чуковский Н.Н., Танаев Г.Ю.** Новая концепция построения бортовой аппаратуры межспутниковых оптических линий связи // Вестник МГТУ им. Н.Э. Баумана. Сер. Приборостроение. 2008. № 2. С. 122—127.

7. **Крюкова И.В.** Физические процессы в полупроводниковых импульсных лазерах с накачкой электронными пучками. М., МГТУ им. Н.Э. Баумана, 2009. 443 с.

8. **Диязитдинов Р.Р.** Системы связи с подвижными объектами: Конспект лекций для студентов вузов России. Самара: ПГУТИ, 2013. 204 с.

9. **Милинкис Б.М., Петров В.М.** Атмосферная лазерная связь. Информост // Радиоэлектроника и телекоммуникации. 2001. № 5 (18).

10. **Милинкис Б.М.** Лазерная линия связи // Патент России № 2233549. 2004. Бюл. ФИПС РФ.

11. **Сапрунов А.С., Толстых Н.Н.** Система лазерной связи с подвижными объектами // Патент России № 2197066. 2003. Бюл. ФИПС РФ.

12. **Айрапетян В.С., Ушаков О.К.** Физика лазеров: Учеб. пособие для вузов России. Новосибирск, СГГА, 2012. 134 с.

13. **Пратт В.К.** Лазерные системы связи / Пер. с англ. М.: Связь, 1972. С. 14—19.

14. **Звелто О.** Принципы лазеров / Пер. с англ. М.: Мир, 1990. 558 с.

15. **Мэйтленд А., Дан М.** Введение в физику лазеров / Пер. с англ. М.: Наука, 1978. 407 с.

УДК 004.055:004.891.2

В.В. Артюхов, С.А. Сакулин, канд. техн. наук, доц., **А.Н. Алфимцев,** канд. техн. наук, доц.
(Московский государственный технический университет им. Н.Э. Баумана)

alfim@bmstu.ru

ФОРМАЛЬНАЯ ОЦЕНКА ИЗМЕНЕНИЙ УДОБСТВА ВЕБ-СТРАНИЦ НА ПРИМЕРЕ ИНТЕРНЕТ-МАГАЗИНА OZON.RU

Рассмотрено применение формальной модели оценки удобства веб-страниц на примере модификации интерфейса подписок интернет-магазина. Проанализировано влияние изменений значений пользовательских критериев удобства веб-страниц на итоговую оценку. Представлены результаты анализа изменений удобства веб-страницы интерфейса подписок интернет-магазина на основе нечёткой модели, параметры которой были получены для веб-страниц информационного типа.

Ключевые слова: синтез и анализ; разработка программного обеспечения; человеко-машинное взаимодействие; удобство веб-страниц; юзабилити; нечёткая логика; нечёткий интеграл.

The application of the formal model for assessing the convenience of web pages is considered as an example of modifying the interface of Internet store subscriptions. The influence of changes in the values of user web page convenience criteria on the final evaluation is analysed. The results of the analysis of changes in the convenience of the web page of the interface of Internet store subscriptions based on a fuzzy model, which parameters were obtained for web pages of the information type, are presented.

Keywords: synthesis and analysis; software development; human-machine interaction; convenience of web pages; usability; fuzzy logic; fuzzy integral.

Введение. Распространение глобальных компьютерных сетей во все сферы общественной, научной и производственной деятельности привело к увеличению объёмов разработки веб-ориентированных информационных систем [1]. Такие системы могут представлять собой как простые веб-сайты, предназначенные только для вывода информации, так и сложные, включающие в себя активный обмен информацией с пользователем, нетривиальную логику работы, интеграцию со сторонними сервисами и т. д., а также веб-приложения, которые могут представлять собой информационные системы повышенной сложности [2].

Ввиду того, что в последнее время количество воспринимаемой человеком цифровой информации значительно увеличилось, посетители сайтов стали обращать всё большее внимание на качество этой информации, в частности, на удобство веб-страниц [3]. В случае возникновения субъективных ощущений трудности восприятия посетитель сайта чаще всего принимает решение покинуть этот сайт. Поэтому оформление содержимого веб-страниц в привлекательном для посетителя виде очень важно, это помогает увеличить конверсию сайта и сделать ресурс более популярным. На сегодняшний день удобство использования веб-страницы — это один из ключевых показателей эффективности в процессе разработки ресурса в Интернете [4]. Работу по оценке удобства веб-страниц следует начинать ещё при создании сайта, однако, даже если ресурс уже запущен, проведение анализа также является целесообразным [5]. В частности, формальная оценка изменения удобства веб-страницы по итогам модификации позволяет значительно улучшить конверсию.

Одним из путей формализации экспертных знаний об удобстве веб-страниц на основе агрегирования пользовательских критериев является применение нечётких моделей мягких вычислений [6]. Рассмотрим данную нечёткую модель и каждый из критериев пользователя по отдельности. Первый критерий, который определяет ясность визуальной иерархии страницы для пользователя, обозначим G_1 [7]. Критерий включает в себя следующие составляющие (входные критерии): g_1^1 — степень «выделенности» или «подчёркнутости» наиболее важных элементов на странице; g_2^1 — степень визуальной логической связанности элементов; g_3^1 — оценка выполнения условия: «если элементы являются частями друг друга логически, то они должны быть представлены в виде вложений».

Второй критерий — степень использования на странице принятых и устоявшихся условностей и общих правил обозначим G_2 [8]. Критерий состоит из двух входных критериев: g_1^2 — применение стандартных обозначений и условностей; g_2^2 — ясное обозначение активных элементов.

Третий критерий — мера разделённости веб-страницы на чёткие области обозначим G_3 [9]. Критерий включает в себя следующие составляющие: g_1^3 — применение шаблона «поиск, категории, содержание»; g_2^3 — использование сетчатого макета.

Четвёртый критерий — степень наличия визуального шума обозначим G_4 [10]. Этот критерий включает следующие составляющие: g_1^4 — мера «перегруженности» страницы элементами; g_2^4 — степень наличия фонового шума.

В настоящей статье рассмотрена оценка изменений удобства веб-страницы сайта интернет-магазина с использованием приведённой иерархии пользовательских критериев. В подразд. «Интернет-магазин OZON.ru» приведено краткое описание интернет-магазина, сайт которого подвергся модификации; в подразд. «Модификация элемента интерфейса "Подписки"» рассмотрена модифицируемая веб-страница интерфейса этого сайта; в подразд. «Оценка изменений удобства элемента интерфейса "Подписки"» приведена формальная оценка изменений удобства модифицируемой веб-страницы, проведённая с использованием нечёткой модели оценки, предложенной в статье [6].

Интернет-магазин OZON.ru. OZON.ru (ОЗОН.ру) — крупный российский интернет-магазин [11], предоставляющий своим покупателям множество товаров, среди которых электроника, бытовая техника, товары для дома и сада, товары для мам и детей, ремонта, спорта и отдыха, красоты и здоровья, одежда и обувь, автотовары, зоотовары, продукты питания, книги, мультимедиа, программное обеспечение, игры, музыка, антиквариат и др.

За время существования магазина его интерфейс претерпевал существенные изменения. Это связано с развитием технологий и принципов организации бизнеса в целом и интернет-магазинов в частности [12].

С момента основания в 1998 г. сайт постоянно развивался и модифицировался, меняя структуру организации данных. Однако существует ряд разделов, наличие которых почти всегда было неизменным. Среди этих элементов можно отметить разделы и категории, корзину, справку и часто задаваемые вопросы, личный кабинет, в том числе и элемент интерфейса «Подписки».

Модификация элемента интерфейса «Подписки». Элемент интерфейса «Подписки» в личном кабинете пользователя интернет-магазина служит для организации оповещения пользователей по электронной почте о новинках магазина.

В старой версии интерфейса отображение подписок было реализовано в виде простого списка без вложенности и имело вид, не соответствующий сегодняшнему облику интернет-магазина. Оно было реализовано в виде таблицы, отображающей все товары без деления на подгруппы, что заметно затрудняло для пользователя поиск нужной подписки. На рис. 1 представлен старый элемент интерфейса «Подписки».

Руководство интернет-магазина, опираясь на результаты опросов и анализ поведения пользователей [13], определило следующие проблемы в старой версии интерфейса управления подписками: отсутствие чёткой группировки товаров по категориям; смешанность товарных фильтров и категорий; невозможность управления группой подписок раздела; общий вид интерфейса, конфликтующий с новым дизайном сайта. Если пользователь имел много подписок, то при открытии «Управления подписками» они выдавались ему сразу все одним списком. Если подписки содержали ещё и много фильтров, список приобретал неаккуратный вид, отпугивающий пользователя. В результате пользователь переставал разбираться в подписках и не мог легко и быстро от них отказаться (отписаться), в то время как к нему на почту продолжало приходить множество ненужных уведомлений о товарах, на которые он когда-то давно подписывался.

Группой дизайнеров интернет-магазина был разработан новый вид рассматриваемого элемента интерфейса в виде дерева с вложен-

Электроника	отписаться
Смартфоны	подписаться
Смартфоны Asus	отписаться
Смартфоны Asus Android 6.x 4G 3G	отписаться

Рис. 1. Старый элемент интерфейса «Подписки»

Рис. 2. Новый элемент интерфейса «Подписки»

ными подкатегориями [14]. От руководства отделу веб-разработки поступила задача переделать этот элемент интерфейса, для того чтобы избавиться от существующих проблем с механизмом управления подписками.

Подписка на сайте в новой версии элемента интерфейса «Подписки» осуществляется более интуитивно по сравнению с предыдущей версией. Модифицированный элемент интерфейса «Подписки» представлен на рис. 2.

Чтобы отследить подписки, пользователю необходимо перейти в личный кабинет, в подраздел «Управление подписками». На открывшейся странице можно видеть три вкладки: «Товары», «Отзывы о товаре» и «Отзывы покупателя». Вкладка «Товары» открыта по умолчанию. Допустим, у пользователя не было подписок до того момента, как он произвёл описанные действия. Тогда на вкладке «Товары» будет присутствовать только пункт «Электроника» со стрелкой слева. Если кликнуть на него, с небольшой задержкой откроется подпункт «Телефоны», который также можно раскрыть. На самом нижнем уровне будет подпункт «Смартфоны», содержащий три подписки. В данной закладке можно отказаться от подписки, кликнув на соответствующую кнопку справа. Если кликнуть на эту кнопку, то подписка примет зачёркнутый вид, а кнопка сменится на «подписаться». Таким образом, подписку можно восстановить, если страницу ещё не обновили, после того, как была выполнена процедура выхода из подписок. В противном же случае отменённая подписка исчезнет из дерева.

Клик на «отписаться» у подписки «Все новинки раздела» переведёт в состояние «отписки» все остальные подписки в этом разделе. Клик на «подписаться» восстановит их. Пункт «Все новинки раздела» будет присутствовать лишь в том случае, если мы подписались на соответствующий верхний уровень каталога.

Рассмотренное дерево подписок представляет собой модифицированный элемент интерфейса «Подписки».

Оценка изменений удобства элемента интерфейса «Подписки». Данная оценка осуществлена с привлечением экспертов и в соответствии с моделью, рассмотренной в работе [6]. В качестве экспертов были привлечены сотрудники интернет-магазина OZON.ru, поскольку большинство сотрудников одновременно являются активными клиентами интернет-магазина, что обусловлено скидками и бесплатной доставкой товаров для них в офисы компании.

Для сбора экспертных данных было привлечено 15 экспертов из числа сотрудников интернет-магазина [15]. Сбор данных осуществлялся дважды: до внесения изменений в интерфейс (старый вариант) и после внесения (новый вариант). Для проведения оценки была составлена анкета, состоящая из девяти вопросов, каждый из которых соответствовал определённому критерию [16]. В задачу эксперта по оценке входило определение значения каждого критерия в диапазоне от 0 до 10, где 0 — критерий отсутствует, 10 — критерий присутствует полностью [17, 18]. Для упрощения взаимодействия с экспертами опрос рассылался по внутрикорпоративной почте в формате анкеты, состоящей из следующих вопросов:

1. Оцените по десятибалльной шкале заметность («подчёркнутость») важных элементов дерева подписок. Видны и выделяются ли основные элементы?

2. Оцените, насколько близкие и связанные элементы подписок клиента соотносятся друг с другом визуально. Имеют ли эти элементы похожий дизайн?

3. Оцените выполнение условия «если элементы являются частями друг друга логически, то они должны быть представлены в виде вложений». Насколько это выражение верно для дерева подписок?

4. Оцените, на сколько баллов по десятибалльной шкале применяются стандартные обозначения и условности в разделе «Подписки».

5. Насколько ясно обозначены активные элементы подписок?

6. Насколько удобно и просто использование шаблона «поиск, категории, содержание» (10 баллов — очень удобно, 0 баллов — невозможно)?

7. Присутствует ли сетчатый макет в дереве подписок?

8. Оцените перегрузку интерфейса работы с подписками элементами (10 — лишние элементы отсутствуют, 0 — множество лишних элементов и информации, страница перегружена).

9. Оцените степень наличия фонового шума в интерфейсе подписок по десятибалльной шкале (10 — шум отсутствует, 0 — шум мешает адекватно работать с сайтом).

Следует отметить, что данная анкета разрабатывалась конкретно для сотрудников OZON.ru. Для опроса обычных пользователей данную анкету рекомендуется переформулировать, упростив некоторые вопросы [19]. Перечисленные вопросы корректны для специалистов, имеющих хотя бы минимальные знания в области веб-разработки. Результаты опросов по удобству старого и нового интерфейсов сведены в табл. 1 и 2 соответственно. Эксперты в таблицах обозначены: Э1 — первый эксперт, Э2 — второй и т. д.

Для работы с критериями на единичной шкале в соответствии с работой [6] необходима нормализация всех критериев. Поскольку в приведённых анкетах оценка степени соответствия веб-страницы тому или иному критерию выставляется по десятибалльной шкале {0, 1,..., 9, 10}, то нормализация этой шкалы даст в результате шкалу {0, 0.1,..., 0.9, 1} и будет состоять в делении каждой возможной оценки на 10. В соответствии с этим в табл. 3 приведены вычисленные средние значения каждого критерия с точностью до сотых.

Рассмотрим средние значения каждого критерия в отдельности. Первый критерий, g_1^1 — степень «выделенности» или «подчёркнутости» наиболее важных элементов на странице, имеет среднее значение для старого интерфейса 0,71, для нового — 0,74 балла. У нового интерфейса имеется относительно небольшой перевес по сравнению со старым. Улучшения были довольно незначительными, они связаны не с какими-то дизайнерскими новшествами, а с общей «чистотой» нового интерфейса, меньшей его зашумленностью, в интерфейсе стало больше «пространства». Лучше заметна каждая подписка, текст стал крупнее, жирным шрифтом выделены подписки на весь раздел.

Таблица 1

Результаты опроса по удобству старого интерфейса

Номер вопроса	Э1	Э2	Э3	Э4	Э5	Э6	Э7	Э8	Э9	Э10	Э11	Э12	Э13	Э14	Э15
1	7	7	8	7	6	7	7	8	8	6	9	7	6	7	7
2	8	7	9	8	8	5	8	8	8	5	8	5	7	9	8
3	6	6	6	6	5	6	7	5	5	7	6	8	6	5	6
4	7	5	8	7	7	5	7	3	7	5	7	7	8	9	6
5	6	8	7	8	6	8	9	5	9	8	7	7	8	8	4
6	4	3	4	3	4	5	3	4	5	4	5	3	6	5	4
7	6	7	6	5	6	8	6	8	7	6	5	6	8	6	7
8	6	5	6	8	9	7	6	6	5	6	7	6	6	5	6
9	8	7	6	6	7	8	7	6	7	8	7	8	6	7	8

Таблица 2

Результаты опроса по удобству нового интерфейса

Номер вопроса	Э1	Э2	Э3	Э4	Э5	Э6	Э7	Э8	Э9	Э10	Э11	Э12	Э13	Э14	Э15
1	8	8	2	9	7	8	9	8	7	6	9	7	8	9	6
2	8	7	7	7	6	7	7	8	8	8	6	8	8	7	9
3	7	5	6	7	7	7	6	5	7	6	6	6	9	8	7
4	6	6	8	6	7	6	7	7	7	6	6	7	7	6	6
5	5	4	6	4	6	5	6	5	7	5	6	7	5	5	4
6	9	8	6	8	9	9	9	8	5	9	5	9	6	5	9
7	6	6	6	7	9	6	6	7	6	6	8	6	9	6	8
8	6	6	7	8	8	8	5	6	8	8	8	6	6	8	9
9	6	8	6	6	7	6	6	6	7	8	7	6	7	8	8

Таблица 3

Средние значения критериев для рассматриваемых интерфейсов

Критерий оценки	Старый интерфейс	Новый интерфейс
g_1^1	0,71	0,74
g_2^1	0,74	0,74
g_3^1	0,60	0,66
g_1^2	0,65	0,65
g_2^2	0,72	0,53
g_1^3	0,41	0,76
g_2^3	0,65	0,68
g_1^4	0,63	0,71
g_2^4	0,71	0,68

Перейдём к критерию g_2^1 — связность элементов. Здесь средний балл одинаков — 0,24. Неудивительно, ведь старый интерфейс тоже был довольно доступным в этом плане. Связность элементов обеспечивали линии таблицы старого интерфейса, от которых в новом интерфейсе решено было отказаться. Одна строка таблицы соответствовала одной подписке. В новом интерфейсе от таблицы отказались, что сделало его более наглядным, но на связности это не отразилось, если судить по баллам, выставленным экспертами.

Рассмотрим критерий g_3^1 — вложенность частей элементов. Средний балл нового интерфейса достиг 0,66, у старого интерфейса значение этого критерия было равным 0,6. У нового интерфейса имеется перевес в 0,06 балла, так как новый интерфейс построен на идее необходимой вложенности частей элементов, т. е. подписок в каталоги. Из этой идеи вложенности, по сути, возник новый вид интерфейса, его древовидная структура, которая изначально предстаёт перед пользователем полностью свёрнутой.

Что касается критерия g_1^2 — применение стандартных обозначений и условностей в интерфейсе, то его среднее значение не изменилось и приблизительно равно 0,65 балла. По этому критерию от нового интерфейса и не ожидалось никаких улучшений. Переименование фильтров, названий действий и других текстовых частей не входило в планы руководства. Кроме того, переименовывать категории каталога в подписках недопустимо — это может ввести в заблуждение пользователя [20].

Критерий g_2^2 — степень заметности активных элементов подписок. По этому критерию новый интерфейс однозначно в лидерах: 0,73 против 0,53 баллов у старого интерфейса, перевес на 0,2 балла. Такая оценка опрашиваемых не вызывает удивления, поскольку старый интерфейс визуально не разделял подписки на активные и неактивные, при деактивации подписки менялось только название кнопки с «подписаться» на «отписаться».

По критерию g_1^3 использования шаблона «поиск—категория—содержание» очевидно ещё более значительное улучшение нового интерфейса — на 0,35 балла. Старый интерфейс не предусматривал иерархичности и категоризации как таковых, в новом же — вложенность, как и было упомянуто ранее, поставлена во главу угла.

По критерию g_2^3 наличия сетчатого макета опережение нового интерфейса уже не столь явное, всего на 0,3 балла, поскольку сетчатый макет для данного интерфейса не планировался. Сайт OZON.ru слишком сложен и неоднороден на данный момент, чтобы использовать для его вёрстки сетчатые макеты [21]. Однако в будущем внедрение сеточных макетов вполне возможно.

По критерию g_1^4 перегрузки интерфейса элементами улучшение нового интерфейса по сравнению со старым уже более явное, на 0,8 баллов. Этот результат стал неожиданным, принимая во внимание детали разработки нового интерфейса. Формально, в новом интерфейсе разметка сложнее, чем в старом. В нём больше HTML-элементов, да и видимых элементов интерфейсов отнюдь не стало меньше. Однако эксперты восприняли интерфейс как менее насыщенный элементами. Вероятно, это явилось заслугой его нового дизайна, благодаря чему интерфейс стал простым и легковесным, имея при этом множество строк сложной логики и непростую разметку.

Наконец, по критерию g_2^4 наличия фонового шума у нового интерфейса по сравнению со старым появилось небольшое опережение. Причины такого опережения уже упоминались: у нового интерфейса больше «пространства», но изначально интерфейс предстаёт перед пользователем в компактном виде. Пользователь без лишнего визуального шума увидит именно то, что ищет в интерфейсе.

Необходимо отметить, что новый интерфейс подписок больше не диссонирует с новым дизайном интернет-магазина, и пользователю не нужно каждый раз зрительно переключаться на чужеродный элемент.

В соответствии с работой [6] итоговая оценка удобства веб-интерфейса оценивается по формуле

$$\Omega = C_{\mu_5}[C_{\mu_1}(g_1^1,\ldots,g_3^1), C_{\mu_2}(g_1^2,g_2^2), C_{\mu_3}(g_1^3,g_2^3), C_{\mu_4}(g_1^4,g_2^4)]. \quad (1)$$

Здесь интегралы Шоке $C_{\mu_1}(g_1^1,\ldots,g_3^1)$, $C_{\mu_2}(g_1^2,g_2^2)$, $C_{\mu_3}(g_1^3,g_2^3)$, $C_{\mu_4}(g_1^4,g_2^4)$ служат для получения значений составных критериев G_1,..., G_4. Интеграл $C_{\mu_5}(G_1,\ldots,G_4)$ служит для агрегирования всех составных критериев. Результатом оценки является значение этого интеграла, полученное на основе значений входных критериев для конкретной веб-страницы [22]. Иерархия рассмотренных критериев представлена в виде дерева из вложенных друг в друга интегралов Шоке (рис. 3).

Для получения оценки удобства интерфейса в соответствии с формулой (1) необходимо идентифицировать нечёткие меры μ_1,..., μ_5 на основе экспертных предпочтений. В настоящей статье использованы результаты в виде нечётких мер μ_1,..., μ_5, полученные авторами на основе работы с 30 студентами, обучающимися на кафедре ИУ3 МГТУ им. Н.Э. Баумана [6]. В качестве процедуры идентификации был выбран метод максимизации энтропии нечёткой меры при заданных ограничениях. Этот метод основан на принципе, предложенном Э. Джейнсом [23]. Принцип Джейнса заключается в том, что обладая какой-то частью знаний о поведении случайной величины, к той части знаний, которая нам недоступна, следует относиться наиболее непредвзято, максимизируя энтропию этой величины с учётом имеющихся знаний. В отношении идентификации нечётких мер этот принцип предложил применять И. Кожадиновиц [24]. В результате получим наименее специфичную нечёткую меру из всех возможных при ограничениях, обусловленных экспертными предпочтениями.

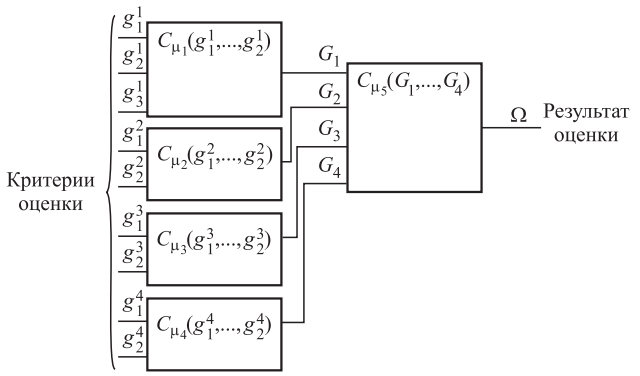

Рис. 3. Дерево из интегралов Шоке для оценки удобства веб-страницы

Вычислим значения итоговых оценок для старого и нового вариантов интерфейса подписок в соответствии с формулой (1). Для упрощения обозначений будем опускать фигурные скобки, обозначающие множество индексов критериев там, где они заключены внутри круглых, записывая (i) и (i, j) вместо ({i}) и ({i, j}) соответственно. Формула (1) в соответствии с выражением, определяющим интеграл Шоке 2-го порядка [25], примет вид

$$\Omega = \sum_{i\in J_5} \mu_5(i)G_i + \sum_{\{i,j\}\in J_5} [\mu_5(ij) - \mu_5(i) - \mu_5(j)]\min(G_i, G_j), \quad (2)$$

где $J_5 = \{1,\ldots, 4\}$ — множество индексов агрегируемых критериев для интеграла $C_{\mu_5}(G_1,\ldots,G_4)$.

Для вычисления значений критериев G_1, ..., G_4 в соответствии с выражением, определяющим интеграл Шоке, воспользуемся формулой

$$G_n = \sum_{i\in J_n} \mu_n(i)g_i^n + \sum_{\{i,j\}\in J_n} [\mu_n(ij) - \mu_n(i) - \mu_n(j)]\min(g_i^n, g_j^n). \quad (3)$$

Подставляя в выражения (2) и (3) средние значения критериев, полученные посредством опроса работников интернет-магазина, в результате получим следующие значения итоговых оценок для старой и новой версий страницы подписок: $\Omega_{стар} = 0{,}559$, $\Omega_{нов} = 0{,}643$. Эти значения подтверждают общее мнение экспертов о том, что новая версия веб-страницы подписок является более удобной по сравнению со старой версией.

Заключение. Проведённая на основе предложенной модели формальная оценка изменений выбранной веб-страницы интерфейса «Подписки» показала, что модифицированный

вариант интерфейса подписок имеет бóльшую степень удобства, чем существовавший ранее, что соответствует мнению экспертов. Вычислительный эксперимент показал, что несмотря на параметры модели (нечёткие меры), рассчитанные для веб-страниц информационного типа, отличающегося от типа страниц интерфейсов подписок, предложенная нечёткая модель оценки удобства веб-страниц может применяться и для оценки веб-интерфейсов подписок интернет-магазина.

Работа выполнена при поддержке гранта Минобрнауки России № 2.5048.2017/8.9.

Библиографические ссылки

1. **Huang Z., Benyoucef M.** From e-commerce to social commerce: A close look at design features // Electronic Commerce Research and Applications. 2013. Vol. 12. № 4. P. 246—259.

2. **Ferrara E., Meo D., Fiumara P., Baumgartner R.** Web data extraction, applications and techniques: A survey // Knowledge-Based Systems. 2014. Vol. 70. P. 301—323.

3. **Gedikli F., Jannach D., Ge M.** How should I explain? A comparison of different explanation types for recommender systems // International Journal of Human-Computer Studies. 2014. Vol. 72. № 4. P. 367—382.

4. **Bekavac I., Praničević D.G.** Web analytics tools and web metrics tools: An overview and comparative analysis // Croatian Operational Research Review. 2015. Vol. 6. № 2. P. 373—386.

5. **Bruun A., Stage J.** Barefoot usability evaluations // Behaviour & Information Technology. 2014. Т. 33. № 11. P. 1148—1167.

6. **Alfimtsev A., Sakulin S., Levanov A.** Formalization of Expert Knowledge About the Usability of Web Pages Based on User Criteria Aggregation // International Journal of Software Innovation (IJSI). 2016. Vol. 4. № 3. P. 38—50.

7. **Phillips A.H., Yang R., Djamasbi S.** Do ads matter? An exploration of web search behavior, visual hierarchy, and search engine results pages // International Conference on System Sciences (HICSS). Hawaii, 2013. P. 1563—1568.

8. **Vogel-Heuser B.** Usability experiments to evaluate UML/SysML-based model driven software engineering notations for logic control in manufacturing automation // Journal of Software Engineering and Applications. 2014. Vol. 7. № 11. P. 943.

9. **Coskun A., Erbug C.** User orientation maps: an approach to address user diversity in design for sustainable behaviour // The Design Journal. 2017. Vol. 20. № 1. P. 131—152.

10. **Xu J., Ding X., Huang K., Chen G.** A pilot study of an inspection framework for automated usability guideline reviews of mobile health applications // Proceedings of the Wireless Health 2014 on National Institutes of Health. Bethesda, 2014. P. 1—8.

11. **Экслер А.** OZON.ru: История успешного интернет-бизнеса в России. М.: Манн, Иванов и Фарбер, 2010. 208 с.

12. **Shin J.I., Chung K.H., Oh J.S., Lee C.W.** The effect of site quality on repurchase intention in Internet shopping through mediating variables: The case of university students in South Korea // International Journal of Information Management. 2013. Vol. 33. № 3. P. 453—463.

13. **Figueroa A.M.** Implementing adaptive interfaces: a user model for the development of usability in interactive systems // Computer systems science and engineering. 2014. Vol. 29. № 1. P. 95—104.

14. **Fu B., Noy N.F., Storey M.A.** Indented tree or graph? A usability study of ontology visualization techniques in the context of class mapping evaluation // International Semantic Web Conference. Berlin, 2013. P. 117—134.

15. **Shaw R.J., Horvath M.M., Leonard D., Ferranti J.M., Johnson C.M.** Developing a user-friendly interface for a self-service healthcare research portal: cost-effective usability testing // Health Systems. 2015. Vol. 4. № 2. P. 151—158.

16. **Chow A.S., Bridges M., Commander P.** The website design and usability of US academic and public libraries: findings from a nationwide study // Reference & User Services Quarterly. 2014. Vol. 53. № 3. P. 253—255.

17. **Пролетарский А.В., Неусыпин К.А.** Оценка точности алгоритма построения моделей по данным лабораторного эксперимента с навигационными системами // Автоматизация и современные технологии. 2014. № 6. С. 40—44.

18. **Неусыпин К.А., Пролетарский А.В., Чан Н.Х.** Оценка точности распознавания цели летательным аппаратом // Автоматизация. Современные технологии. 2016. № 4. С. 36—39.

19. **Mi N., Cavuoto L., Benson K., Smith-Jackson T., Nussbaum M.** A heuristic checklist for an accessible smartphone interface design // Universal access in the information society. 2014. Vol. 13. № 4. P. 351—365.

20. **Liebenberg L., Steventon J., Brahman N., Benadie K., Minye J., Langwane H.** Smartphone Icon User Interface design for non-literate trackers and its implications for an inclusive citizen science // Biological Conservation. 2017. Vol. 208. P. 155—162.

21. **Christophersen T., Konradt U.** Reliability, validity and sensitivity of a single-item measure of online store usability // International Journal of Human-Computer Studies. 2011. Vol. 69. № 4. P. 269—280.

22. **Сакулин С.А., Алфимцев А.Н.** Выбор операторов агрегирования пользовательских критериев для оценки удобства веб-страниц // Вестник Иркутского государственного технического университета. 2017. № 1(21). С. 90—102.

23. **Jaynes E.T.** Information theory and statistical mechanics // Phys. Rev. 1957. № 106. P. 620—630.

24. **Kojadinovic I.** Minimum variance capacity identification // European Journal of Operational Research. 2007. № 177 (1). P. 498—514.

25. **Mayag B., Grabisch M., Labreuche Ch.** A representation of preferences by the Choquet integral with respect to a 2-additive capacity // Theory and Decision. 2011. Vol. 71. P. 297—324.

УДК 621.664

В.В. Буренин, канд. техн. наук, проф., **Н.П. Кириллов,** д-р техн. наук, проф.,
В.А. Зорин, д-р техн. наук, проф., **А.Н. Сова,** д-р техн. наук, проф.
(Московский автомобильно-дорожный государственный технический университет)

madi.1965@mail.ru

НОВЫЕ ШЕСТЕРЁННЫЕ НАСОСЫ ДЛЯ ОБЪЁМНОГО ГИДРОПРИВОДА И СИСТЕМ ГИДРОАВТОМАТИКИ МАШИН И МЕХАНИЗМОВ

Рассмотрены новые конструкции шестерённых насосов для объёмного гидропривода и систем гидроавтоматики машин и механизмов, предложенные в научно-технической и патентной литературе промышленно развитых стран. Приведены отечественные и зарубежные производители шестерённых насосов, отличающихся улучшенными характеристиками.

Ключевые слова: шестерённый насос; объёмный гидропривод; гидроавтоматика; система управления; надёжность; ресурс работы; уровень шума; машина; механизм.

New designs of gear pumps for a hydraulic drive and hydro-automatics systems of machines and mechanisms proposed in scientific and technical and patent literature of industrially developed countries are considered. The domestic and foreign manufacturers of gear pumps with improved characteristics are presented.

Keywords: gear pump; volumetric hydraulic drive; hydro-automatics; control system; reliability; work resource; noise level; machine; mechanism.

Повышение эффективности работы машин и механизмов требует более широкого применения в них объёмного гидропривода и систем гидроавтоматики [1].

Объёмный гидропривод отличается относительно малыми габаритными размерами и массой, приходящейся на единицу передаваемой мощности, надёжностью, простотой управления, автоматическим предохранением силовой гидросистемы от перегрузок, высокими динамическими качествами и т. д.

Источником гидравлической энергии в гидрофицированных машинах и механизмах (машинах и механизмах, оборудованных гидроприводом и системами гидроавтоматики) наиболее часто служат шестерённые насосы (ШН) [2]. По сравнению с роторными насосами других типов шестерённые насосы проще по конструкции, дешевле в изготовлении, удобнее в эксплуатации и имеют меньшие габаритные размеры и массу. Шестерённые насосы бывают двух типов: внешнего и внутреннего зацепления. Наиболее распространённым является насос первого типа, который обычно состоит из пары зацепляющихся шестерён, помещённых в плотно охватывающий их корпус. При вращении шестерён перекачиваемая жидкость, заполняющая впадины шестерён, переносится из полости всасывания в полость нагнетания. В полости всасывания зубья шестерён выходят из зацепления, а в полости нагнетания — входят в зацепление.

В шестерённых насосах внешнего зацепления при прочих равных условиях из-за отсутствия самоуплотнения радиальных зазоров утечки случаются чаще, чем в роторных насосах других типов. Кроме того, развитые поверхности трения вызывают значительные механические потери, а при использовании простейшего зубчатого зацепления в шестерённом насосе внешнего зацепления относительно бóльшими являются габаритные размеры и масса.

Более высокие энергетические и массовые показатели имеют шестерённые насосы с внутренним зацеплением. По размерам и массе они при одинаковых рабочих объёмах значительно меньше шестерённых насосов с внешним зацеплением.

Основными недостатками шестерённых насосов являются чувствительность к механическим примесям в перекачиваемой жидкости, постепенное увеличение зазоров в процессе эксплуатации из-за износа деталей в подвижных соединениях, рост внутренних перетечек жидкости и неуравновешенность радиальных сил давления жидкости на шестерни.

В последнее время ведущие в области насосостроения российские и зарубежные фирмы разработали, запатентовали и выпускают множество различных конструкций шестерённых насосов с улучшенными характеристиками.

Бóльшим ресурсом работы отличается шестерённый насос внешнего зацепления [3]

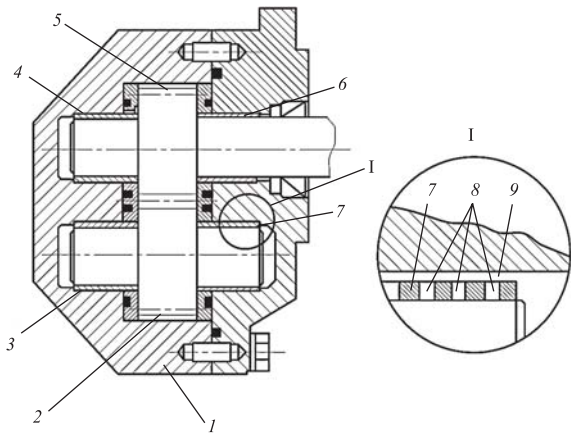

Рис. 1. Шестерённый насос внешнего зацепления с охлаждением подшипников скольжения

(рис. 1), содержащий в корпусе *1* ведущую *5* и ведомую *2* шестерни с цапфами, установленными в подшипниках скольжения *3*, *4*, *6* и *7*. Для усиления теплоотвода от пар трения каждый подшипник скольжения выполнен с радиальными сквозными каналами *8*, соединяющими внутреннюю поверхность подшипника с полостью низкого давления (полостью всасывания) через аксиальные каналы *9*. Циркуляция перекачиваемой жидкости по каналам *8* и *9* обеспечивает достаточно интенсивный отвод тепла от подшипников скольжения и их смазку.

Шестерённый насос внешнего зацепления с регулируемой подачей [4] разработан фирмой TCG Unitech Systemtechnik GmbH (Австрия). Ведомая шестерня в осевом направлении нагружена геликоидальной тарированной пружиной и может перемещаться на небольшое расстояние с помощью электропривода. Увеличение или уменьшение зазора между стенкой камеры насоса и торцевой поверхностью шестерни приводит при этом к изменению его подачи.

В России шестерённые насосы выпускают ОАО «Ливгидромаш» (г. Ливны Орловской обл.), ООО «Нововятский механический завод» (НМЗ), ОАО «Мосгидропривод», ОАО ОЗГА (г. Омск), ОАО «Гидравлик» (г. Грязи Липецкой обл.), ОАО «Гидромаш» (г. Москва), а также предприятия Украины: Винницкий завод тракторных агрегатов (ВЗТА) и ОАО «Гидросила» (г. Кировоград).

ОАО «Гидросила» производит шестерённые насосы внешнего зацепления марок НШ 32А-3, НШ 50А-3, НШ 71-А-3, НШ 100А-3, НШ 250А-3 с рабочим объёмом 32, 50, 71, 100, 250 см^3 соответственно при давлении до 21 МПа и ресурсом не менее 1 млн циклов [5]. Особенностями конструкции насосов являются: размещение всех четырёх подшипников под цапфы шестерён в одном цельном блоке с обработкой рабочих поверхностей с одной установки, ограничение зоны высокого давления, применение независимых от подшипников и свободно прижимающихся к торцам шестерён торцевых замыкателей и компенсации радиальных зазоров в качающем узле (кроме обычной автоматической компенсации торцевых зазоров). Эти особенности позволили исключить перекос шестерён, а также повысить надёжность подшипников и коэффициент подачи.

Кроме того, в ОАО «Гидросила» создан и поставлен на производство унифицированный ряд шестерённых насосов серии «М» с ресурсом не менее 1,5 млн циклов. Они отличаются компактностью, небольшой материалоёмкостью и могут работать при давлении рабочей жидкости до 25 МПа. Благодаря плотному диапазону типоразмеров в ряду (НШ 20М-4/3, НШ 25М-4/3, НШ 32М-4/3, НШ 40М-4/3, НШ 50М-4/3, НШ 63М-3) можно проектировать объёмные гидроприводы для машин и механизмов с экономным использованием мощности.

В ОАО «Гидросила» также выпускаются унифицированные шестерённые насосы десяти типоразмеров — НШ 4-3/4, НШ 6-3/4, НШ 8-3/4, НШ 10-3/4, НШ 11-3/4, НШ 12-3/4, НШ 14-3/4, НШ 15-3/4, НШ 16-3/4, НШ 20-3/4, позволяющие потребителю проектировать объёмные гидроприводы с оптимальными характеристиками и с минимальными энергозатратами. Насосы имеют модификацию для работы в силовых гидросистемах с давлением до 21 и 25 МПа.

Для увеличения подачи разработан и серийно выпускается в ОАО «Гидромаш» (Россия) многосекционный шестерённый насос параллельной компоновки марки НШ 1200×3Г. В основу оригинальной конструкции насоса, предназначенного для перекачивания плохо смазывающих рабочих жидкостей, положена конструкция планетарной передачи, в которой сателлиты являются ведомыми шестернями отдельных насосов, а солнечная шестерня — ведущей для всех насосов. Передаточное отношение между ведущей и ведомыми шестернями позволяет применить приводной двигатель, обеспечивающий минимальную скорость вращения ведомых шестерен, равную 500 об./мин, при которой добиваются необходимого рабочего давления до 25 МПа.

Серия шестерённых насосов внешнего зацепления с большим ресурсом работы выпускается фирмой Pump Engineering Ltd. (Великобритания). Насосы рассчитаны на давление нагнетания до 10 МПа, подачу до 600 л/мин и температуру рабочей жидкости до 140 °С. Они оснащены встроенными предохранительными клапанами, допускают реверс и удобны в эксплуатации.

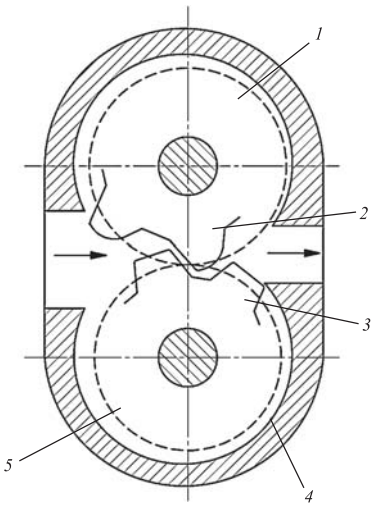

Рис. 2. Шестерённый насос внешнего зацепления с равными наружными диаметрами шестерён

Технологичностью конструкции отличается шестерённый насос [8] (рис. 2) внешнего зацепления, состоящий из корпуса *4*, в цилиндрических расточках которого на опорах установлены ведущая *1* и ведомая *5* шестерни с эвольвентными профилями зубьев. Шестерни *1* и *5* имеют равные наружные диаметры, а количество их зубьев *2* и *3* различно. При этом разность количества зубьев ведомой и ведущей шестерён лежит в пределах от −2 до +2, поэтому скорости вращения ведущей *1* и ведомой *5* шестерён различны. Эвольвентные профили зубьев *2* и *3* шестерён *1* и *5* смещены в радиальном и тангенциальном направлениях относительно их делительных окружностей. Диаметры вершин зубьев *2* и *3* шестерён *1* и *5* выровнены из расчёта, что отношение радиальных смещений профилей зубьев *2* и *3* отлично от единицы, а разность радиальных смещений ведущей и ведомой шестерён равна сумме разностей между радиальными зазорами этих шестерён и количеством зубьев *2* и *3* ведущей *1* и ведомой *5* шестерён, умноженных на половину модуля. Шестерённый насос имеет улучшенные технологические показатели, в частности коэффициент применяемости, являющийся основным показателем унификации. Для получения нового типоразмера насоса достаточно переставить местами ведущую и ведомую шестерни, имеющие равные наружные диаметры. Изменение подачи шестерённого насоса в этом случае обусловлено реализацией передаточного числа передачи, отличного от единицы, за счёт разного количества зубьев *2* и *3* ведущей *1* и ведомой *5* шестерён. При этом не требуется новых деталей для второго типоразмера насоса. Это в свою очередь ведёт к уменьшению номенклатуры выпускаемых деталей, увеличению их массовости и в конечном счёте — к снижению себестоимости продукции в целом.

Большой долговечностью работы отличается шестерённый насос внешнего зацепления. Ведущий и ведомый валы не имеют жёсткой фиксации в осевом направлении, а удерживаются в рабочем положении благодаря подводу перекачиваемой жидкости под давлением из полости нагнетания к одному торцу ведущего вала и обоим торцам ведомого вала. Подвод рабочей жидкости под давлением осуществляется по каналам в корпусе насоса, которые сообщаются с полостью нагнетания насоса. Торцы валов, к которым подводится рабочая жидкость под давлением, выполнены сферическими, чтобы даже при касании торца вала с корпусом насоса рабочая жидкость могла попасть под его торец.

Фирма Damilen Chryaler Corp. (США) запатентовала конструкцию зубчатой пары для шестерённого насоса внешнего зацепления [10] (рис. 3). Зубья *1—5* каждой шестерни насоса имеют толщину соответственно S_1—S_5 по делительной окружности. Различие по толщине зубьев варьируется в пределах от −8 до +12 мкм и подбирается по закону случайных чисел, что исключает появление резонансных частот шума при его работе и снижает общий уровень шума.

Насосы с шестернями внутреннего зацепления отличаются большей компактностью и меньшими габаритными размерами по сравнению с насосами с шестернями внешнего зацепления той же подачи и давления нагнетания. Преимуществом этих насосов является также симметричное расположение приводного вала относительно корпуса насоса. Ведущей шестерней, как правило, является шестерня с внутренними зубьями, связанная с приводным валом. Для отделения полости всасывания от полости нагнетания применяется серпообразный разделительный элемент (серпообразная перемычка).

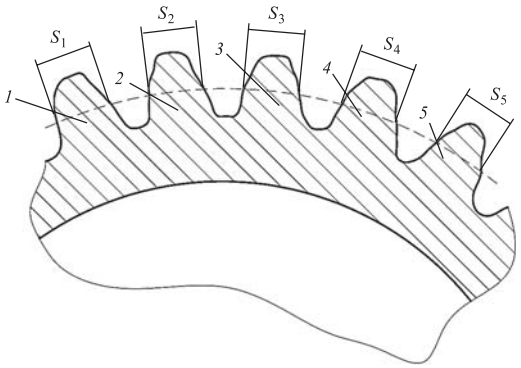

Рис. 3. Шестерня со случайными отклонениями толщины зубьев

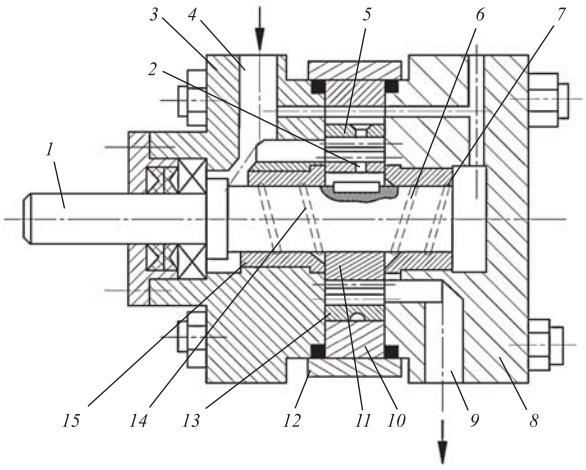

Рис. 4. Шестерённый насос внутреннего зацепления с надёжной смазкой подшипников скольжения

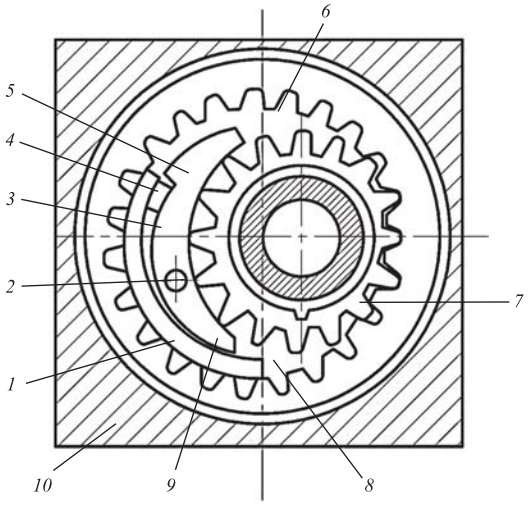

Рис. 5. Шестерённый насос внутреннего зацепления с улучшенной герметизацией нагнетательной полости

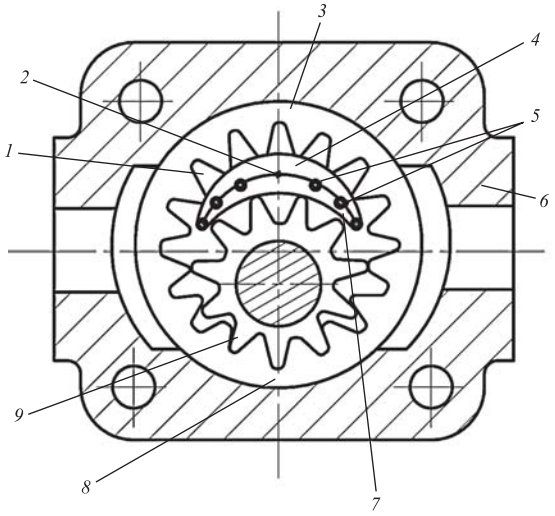

Рис. 6. Реверсивный шестерённый насос внутреннего зацепления

Простую и технологичную в изготовлении конструкцию имеет шестерённый насос с внутренним зацеплением [11] (рис. 4), содержащий внутреннюю ведущую шестерню *11* и внешнюю кольцевую шестерню *13*, между которыми расположена серпообразная перемычка *5*, отделяющая полость всасывания с патрубком *4* от напорной полости (полости нагнетания) с патрубком *9*. При вращении шестерни *11* рабочая жидкость, заполняющая полость всасывания и межзубовые впадины шестерён, переносится в полость нагнетания, где и выдавливается через серпообразные окна, выполненные в боковых крышках *3* и *8* корпуса *12*, в напорный патрубок *9*. Кольцевая шестерня *13* посажена по своей внешней поверхности в подшипник скольжения *10*, а ведущая шестерня *11* установлена на валу *1*, который вращается в подшипниках скольжения *7* и *15*. Наиболее нагруженными узлами насоса являются подшипники скольжения *7*, *10* и *15*. Для увеличения срока службы подшипников *7*, *10* и *15* к их поверхностям трения из полости нагнетания по каналам *2*, *6* и *14* и кольцевой канавке на внешней поверхности шестерни *13* подаётся перекачиваемая рабочая жидкость, обеспечивающая надёжную смазку.

Особенностью конструкции шестерённого насоса внутреннего зацепления фирмы Voith Turbo GmbH and Co.KG. (Германия) [12] является то, что для разгрузки защемлённого между зубьями шестерён объёма рабочей жидкости в полой ведомой шестерне с внутренним зубчатым венцом во впадинах зубьев выполнены радиальные каналы, перепускающие защемлённую жидкость в полость нагнетания.

В шестерённом насосе внутреннего зацепления фирмы Hydroperfect International SA (Франция) [13] ведомая шестерня выполнена из полимерного материала марки PEEK. Это уменьшает уровень воздушного шума, создаваемого насосом при работе, на 3 дБА по сравнению с применением в насосе обеих металлических шестерён.

Большой ресурс работы и высокий объёмный КПД имеет шестерённый насос [14] внутреннего зацепления (рис. 5) фирмы Sauer-Sundstand Ltd. (Великобритания). Повышение объёмного КПД насоса достигнуто за счёт улучшения герметизации выпускной (нагнетательной) полости *6* относительно полости всасывания *8*. Герметизация осуществляется сегментом *1*, выполненным заодно с крышкой корпуса *10*, и качающимся на оси *2* серповидным элементом *3*, выполненным из менее износостойкого материала, чем ведущая шестерня *7*. При работе насоса клиновидная шпонка *4* сдвигается вниз за счёт давления перекачиваемой рабочей жидкости в выпускной полости *6*, прижимая

плечо *5* серповидного элемента *3* к вершинам зубьев ведущей шестерни *7*, а плечо *9* — к стационарному сегменту *1*, что приводит к резкому уменьшению перетечек жидкости между выпускной *6* и всасывающей *8* полостями. Изготовление элемента *3* из материала с меньшей износостойкостью, чем зубья ведущей шестерни *7* (например, из алюминиевого сплава или антифрикционного чугуна), предотвращает их задир или повышенный износ.

Отличается высоким объёмным КПД реверсивный шестерённый насос внутреннего зацепления (рис. 6) фирмы Rexroth Gmb H + Go.KG (Германия). Насос имеет корпус *6*, в котором расположены ведущая шестерня *9* с наружными зубьями и совместно с ней вращающаяся ведомая шестерня *3* с внутренними зубьями. В серповидном пространстве *1* между шестернями *9* и *3* симметрично относительно вертикальной оси *8*, проходящей через центр обеих шестерён *9* и *3*, расположен серповидный элемент *2*, который обоими своими торцами в продольном направлении опирается на корпус *6*. Особенностью конструкции является то, что серповидный элемент *2* разделён на два уплотнительных сегмента *4* и *7*. Первый сегмент *4* подвижен в радиальном направлении и прижимается к ведомой шестерне *3*. Второй сегмент *7* также подвижен в радиальном направлении и прижимается к ведущей шестерне *9*. Зазор между этими уплотнительными сегментами *4* и *7* герметизируется с помощью эластомерных уплотнительных элементов *5*, что предотвращает перетечки рабочей жидкости из полости высокого давления (полости нагнетания) в полость низкого давления (полость всасывания).

Применяются также шестерённые насосы внутреннего зацепления со специальным профилем зуба, в которых отсутствует серпообразный разделительный элемент. Эти насосы получили название шестерённых героторных насосов. Зубья шестерён этих насосов находятся в симметричном относительно горизонтальной или вертикальной оси положении. Оси шестерён смещены одна относительно другой на определённую величину, обеспечивающую зацепление. Герметизация полости нагнетания от полости всасывания здесь достигается путём непрерывного контакта зубьев внутренней и внешней (кольцевой) шестерён в зонах разделительных перемычек между окнами всасывания и нагнетания.

В шестерённом героторном насосе фирмы Mitsubishi Materials Corp. (Япония) [16] внутренняя шестерня имеет n зубьев, а наружная — $n + 1$. Для снижения шума зубьям придана особая геометрия: выступы зубьев наружной шестерни и впадины зубьев внутренней шестерни очерчены гипоциклоидами, полученными качением образующих окружностей по делительным окружностям, а впадины зубьев наружной шестерни и выступы зубьев внутренней шестерни — эпициклоидами.

Анализ новых конструкций шестерённых насосов, выпускаемых ведущими в области насосостроения российскими и зарубежными фирмами для объёмного гидропривода машин и механизмов, а также предложенных в патентной литературе, показывает, что современные тенденции их развития направлены на увеличение ресурса и надёжности работы, улучшение технологии изготовления, применение новых материалов с улучшенными характеристиками, упрощение конструкции, повышение КПД, уменьшение габаритных размеров и массы, а также снижение создаваемого шума и стоимости изготовления.

Библиографические ссылки

1. **Буренин В.В.** Объёмные гидравлические приводы агрегатов технологического оборудования: учеб. пособие. М.: МАДИ, 1998, 167 с.

2. **Буренин В.В., Дронов В.П.** Конструкции шестеренных насосов: обзорная информация. М.: ЦИНТИХИМНЕФТЕМАШ, 1982. 40 с., сер. ХМ-4 «Насосостроение».

3. **Жулинский Г.К., Григорьев В.П.** Шестерённая машина внешнего зацепления // Патент России № 2100654. 1997. Бюл. № 36.

4. **Шестерённый** насос с регулируемой подачей // Патент США № 7137798. 2005.

5. **Ткаченко В.А., Григорьев В.П.** Мобильной технике — современный гидропривод // Тракторы и сельскохозяйственные машины. 2000. № 10. С. 3—5.

6. **Георгиевский Г.М., Георгиевский М.Г., Батышев К.А., Батышев А.И.** Совершенствование конструкций шестерённых насосов // Технологическое машиностроение. 2008. № 2. С. 45—48.

7. **New products:** Portalle gear pump for transferring viscous fluid // Corros. Preu and Cnstr. 2003. № 2. P. CR8.

8. **Иванов И.П., Иванов С.П., Красножон О.П.** Шестерённая гидромашина // Патент России № 2049932. 1995. Бюл. № 34.

9. **Шестерённый** насос с плавающими валами // Патент США № 6716011. 2004.

10. **Шестерни** со случайными отклонениями для уменьшения шума шестерённого насоса // Патент США № 6164944. 2000.

11. **Андреев А.М., Надежкин Л.И.** Шестерённый насос внутреннего зацепления // Патент России № 2121080. 1998.

12. **Шестерённый** насос с разгрузкой защемлённого объёма рабочей жидкости между зубьями шестерён // Заявка на патент Германии № 19804133. 1999.

13. **Пластмассовый** шестерённый насос // Заявка на патент Франции № 2794188. 2000.

14. **Шестерённый** насос с улучшенной герметизацией нагнетательной полости // Заявка на патент Великобритании № 2299134. 1996.

15. **Реверсивный** шестерённый насос внутреннего зацепления // Заявка на патент Германии № 4338875. 1995.

16. **Масляный** шестерённый насос с внутренним зацеплением // Заявка на патент Европейского патентного ведомства № 1340914. 2003.

УКАЗАТЕЛЬ СТАТЕЙ, ОПУБЛИКОВАННЫХ В ЖУРНАЛЕ «АВТОМАТИЗАЦИЯ. СОВРЕМЕННЫЕ ТЕХНОЛОГИИ» В 2017 г.

№ журнала Стр.

АВТОМАТИЗАЦИЯ НАУЧНО-ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИХ И ПРОИЗВОДСТВЕННЫХ ПРОЦЕССОВ

Байнева И.И. Энергоэффективные светодиодные технологии в сельском хозяйстве 7 298

Борисов И.И., Кривошеев С.В., Олейник Р.В., Резников С.С. Система обратной связи кистевого электромеханического протеза 11 494

Буренин В.В., Иванина Е.С. Очистка воздуха для систем пневмоавтоматики и силового пневмопривода 5 195

Быков Л.В., Ежов А.Д. Оптимизация конструкции теплонапряжённой энергетической установки на основании теплопрочностного расчёта 11 483

Ванцов С.В., Халявина А.А. Сложные электронные устройства: возможность автоматизации диагностирования 12 531

Васильков Ю.В., Федотов В.С., Алиев Д.И. Концепция управления автоматическим технологическим складом как производственной системой 9 401

Ведель М.В., Домбровский И.В. Применение активного управляемого инструмента при глубоком сверлении 8 346

Гадаборшева Т.Б., Самохвалова Е.С., Кокин А.А., Чичиров К.О. Изучение аэродинамических характеристик дефлектора на лабораторно-экспериментальной установке 3 99

Денисенко А.Ф., Круцило В.Г., Якимов М.В. Разработка роторных установок для переработки медицинских отходов 4 147

Доманов В.И., Доманов А.В., Мишин А.В. Анализ энергоэффективности ручной электродуговой сварки с различными источниками тока 10 438

Дранников А.В., Костина Е.В., Дерканосова А.А., Бородовицын А.М. Управление процессом сушки высоковлажных дисперсных материалов при пониженном давлении сушильного агента . . . 6 248

Калмыков В.В., Малышев Е.Н., Фёдоров В.А. Определение параметров групповой наладки крючковых бункерных загрузочно-ориентирующих устройств 2 51

Калюжный В.В., Калюжный С.В., Куликов А.В., Дикович Ю.А., Бондарь И.А. Система архивирования и отображения информации о работе крановых электроприводов 9 392

Коноплев В.И., Анцев В.Ю., Башкин С.А. Грузовой вагон с устройством для выгрузки сыпучих сельскохозяйственных продуктов 7 302

Крюков О.В. Автоматическое управление магистральными потоками газа с помощью электроприводных агрегатов 7 305

Кувайскова Ю.Е., Крашенинников В.Р. Обновление структуры моделей системы временных рядов 10 435

Кузин Е.К., Сульдин С.П., Митин Э.В., Митина А.Э. Расчёт на прочность легкового прицепа общего назначения, загруженного штабельным грузом, при экстренном торможении 12 537

Мешков Н.А., Пьо Си Тху. Исследование подходов к задаче идентификации динамических объектов 8 339

Ничков А.В., Ведерников М.А. Повышение коэффициента использования режущей способности червячной фрезы последовательным чередованием технологических схем и осевого смещения фрезы 6 251

Панайоти В.А. Исследование структурных превращений в быстрорежущих сталях при шлифовании с применением твёрдых смазок 2 55

Пищухина Т.А. Программное обеспечение для выбора оптимальной компоновки реконфигурируемой производственной системы 11 487

Потапов В.В. Основные этапы и задачи риск-ориентированного подхода к управлению герметичностью систем безопасности контайнмента реактора 7 295

Сердюк А.И., Сергеев А.И., Радыгин А.Б. Компьютерное моделирование гибких производственных систем с автоматизированной системой инструментального обеспечения. 9 387

Сидоров В.П., Мельзитдинова А.В. Автоматическое регулирование размера сварного шва по температуре изделия 9 396

Тамаркин М.А., Тищенко Э.Э., Казаков Д.В., Гребёнкин Р.В. Исследование формирования показателей надёжности процесса центробежно-ротационной обработки. 4 152

Тугов В.В., Акимов И.А. Управление процессом теплообмена в многослойных конструкциях с фазовыми переходами 6 243

Федосин С.А., Байнев В.В. Разработка геометрических моделей для автоматизации процесса компьютерного проектирования осветительных приборов 3 102

Филиппенко Н.Г. Методика автоматизации процесса электротермического нагрева полимерных материалов 7 291

Хусаинов И.Г. Исследование влияния круговой границы на процесс релаксации давления в скважине после её опрессовки 11 490

СОВРЕМЕННЫЕ ТЕХНОЛОГИИ

Байнев В.В. Применение триангуляционной сетки для моделирования светодиодных оптических систем. 10 447

Балахонов К.А., Шахтарин Б.И., Лихоеденко К.П. Схема Костаса с использованием вентилей «исключающее ИЛИ» вместо других входных схем смесителей 8 364

Бобков В.И. Оптимизация химико-технологической системы обжига окомкованного сырья в плотном слое 4 157

Бобырь М.В., Нассер А.А., Абдулджаббар М.А. Нечёткая стабилизация процесса обработки деталей в задачах управления оборудованием с ЧПУ 5 212

Бржозовский Б.М., Зинина Е.П., Мартынов В.В., Юнин С.А. Автоматизированная стабилизация процесса воздействия низкотемпературной плазмы при упрочнении поверхностного слоя металлических изделий 10 452

Володина К.В. Использование системы АСОНИКА для исследования влияния температуры на параметры электромагнитной взаимосвязи печатных проводников 8 360

Григорьев-Фридман С.Н. Применение лазерного диода в мобильной атмосферной лазерной связи 12 552

Гурин И.А., Спирин Н.А., Лавров, В.В., Носков В.Ю. Алгоритмическое и программное обеспечение оптимального распределения топливно-энергетических ресурсов в доменном производстве. 5 202

Даев Ж.А. Особенности применения диффузора с криволинейными образующими в качестве преобразователя расхода веществ 9 406

Елисеев А.В., Овсянников С.Н., Пшеничный С.А. Фильтрация информационного процесса в условиях параметрической неопределённости 3 113

Елисеев В.А. Проекты создания техники новых поколений 11 497

Железникова О.Е., Кокинов А.М., Микаева С.А. Исследование влияния освещения светодиодами на состояние центрального звена органа зрения 3 121

Кай Шэнь, Неусыпин К.А., Пролетарский А.В. Разработка критерия степени идентифицируемости параметров модели динамических нестационарных систем 10 442

Кай Шэнь, Селезнёва М.С. Разработка численного критерия степени наблюдаемости переменных состояния нелинейных систем 8 351

Кармишин В.А., Неменко М.В. Выбор такта квантования, обеспечивающего устойчивость системы управления. 1 16

Кашаев Р.С., Козелков О.В., Хазиахметова Л.Р. Автоматическое энергоснабжение котельных топливными эмульсиями и система контроля их параметров релаксометром ЯРМ 1 10

Клячкин В.Н., Зенцова Е.А. Модель затрат для многомерной контрольной карты Хотеллинга . . 4 167

Корнеев Н.В., Гребенников А.В. Элементная база и электрическая схема интеллектуальной подсистемы контроля состояния водителя транспортного средства. 2 66

Кофанов Ю.Н., Шалумов А.С., Шалумов М.А. АСОНИКА — современный инструмент автоматизации моделирования электроники на внешние воздействия 3 106

Крашенинников В.Р., Бубырь Д.С., Клячкин В.Н. Повышение надёжности системы управления водоочисткой при использовании программного блока раннего предупреждения о нарушении показателей качества воды. 2 61

Микаева С.А., Микаева А.С. Управляемый электронный пускорегулирующий аппарат. 2 72

Микрин Е.А., Филимонов А.В., Зубов Н.Е. Методика оценки вероятности тяжёлого летательного аппарата на потенциально опасный объект в результате авиационной катастрофы 12 540

Неусыпин К.А., Пролетарский А.В., Чжо Зин Хтут. Редуцированная динамическая экспертная система с интеллектуальной компонентой для контроля прицельно-навигационного комплекса летательного аппарата 8 356

Пищухин А.М., Пищухина Т.А. Автоматическое распределение разбуриваемых площадей при бурении разновращающимися коронками 1 8

Подусов М.С., Поляков В.Г., Сердюков О.В., Пермяков Р.А. Система обнаружения вторжений для АСУТП на базе ПТК «ТОРНАДО-N» 5 207

Сотникова С.Ю. Метод виртуальных испытаний электронных средств на основе автоматизированного моделирования 12 546

Стариков А.В., Батурин К.В. Математическое обеспечение поддержки методики автоматизированного учёта заготовленной древесины 1 3

Терентьев В.Б. Упорядочение объектов на основе многокритериального анализа. 9 410

Толкачёв П.А. Методики увеличения качества спектра выходного сигнала для синтезаторов частот косвенного синтеза с делителем с переменным коэффициентом деления 7 309

Филиппенко Н.Г., Буторин Д.В., Лившиц А.В. Определение фазовых и релаксационных переходов в полимерных материалах 4 171

Хусаинова Г.Я. Способ определения начального градиента давления в нефтяных пластах. . . 9 412

Шалумов М.А. Методология проектирования и обеспечения надёжности радиотехнических устройств в виртуальной среде на основе комплексного моделирования схем и конструкций. . . 9 416

Шалумов М.А., Шалумов А.С., Шалумова Н.А., Кофанов Ю.Н. Автоматизация моделирования тепловых процессов печатных узлов с использованием радиаторов 4 162

Шматков В.С., Тимохин Р.С., Шматкова А.В. Повышение объективности данных о работе оборудования с ЧПУ с использованием лог-файла (протокола станка) 6 254

ИНФОРМАЦИОННЫЕ ТЕХНОЛОГИИ

Александров И.М., Евсевлеева Л.Г., Бадеников А.В. Система управления процессом горения жидких топлив в промышленных печах на основе нечёткой нейронной сети 1 32

Артюхов В.В., Сакулин С.А., Алфимцев А.Н. Формальная оценка изменений удобства вебстраниц на примере интернет-магазина OZON.RU 12 560

Богомолов А.В., Климов Р.С. Автоматизация обработки информации при проведении коллективных сетевых экспертиз 11 509

Болнокин В.Е., Ивашов Е.Н., Нгуен Динь Чунг, Корпачёв М.Ю., Федотов К.Д. Алгоритм формирования управляющей системы в условиях неопределённости. 5 222

Доронина Ю.В., Карпова Т.С., Доронина Е.Б. Формализация процесса управления жизненным циклом информационной системы на основе анализа её ресурсов 8 367

Дурнев Р.А., Котосонова А.С., Галиуллина Р.Л. Системно-динамическая модель информирования населения при аварии на химически опасном объекте. 2 81

Железникова О.Е., Кокинов А.М., Синицына Л.В., Микаева С.А. Оценка состояния рецепторного аппарата органа зрения в условиях освещения светодиодам. 4 180

Иванов Д.Е., Громова Т.В., Швецова-Шиловская Т.Н., Полехина О.В. Разработка технологии сопряжения информационно-аналитической системы оценки показателей надёжности оборудования опасных производственных объектов с зарубежными и отечественными программными продуктами 10 456

Иванов М.В., Селезнева М.С., Неусыпин К.А. Применение фильтра Калмана и генетического алгоритма для активной системы мониторинга содержания газовой фазы во флотационном аппарате 11 503

Кондрашов Ю.Н. Информационное обеспечение систем управления проектами 9 422

Костюк В.И., Нефёдова А.В., Лукьянова Н.В. Исследование информационных систем и технологий на современных предприятиях 2 77

Мальшаков Г.В., Мальшаков В.Д. Количественная оценка интероперабельности прикладного программного обеспечения на основе структур его данных 5 219

Медведев А.М., Мылов Г.В. Проектирование высокоплотных соединений в авионике 1 27

Микрин Е.А., Зубов Н.Е., Рябченко В.Н., Поклад М.Н., Ефанов Д.Е. Аналитический синтез законов управления продольным движением одновинтового вертолёта. 1 21

Мирзаханов В.Э. Робастное адаптивное управления объектом с неопределённостью в динамике 6 260

Молчанский А.В., Барабаш Ж.А. Облик автоматизированной информационной системы формирования документации при производстве деталей летательных аппаратов в условиях совмещённого производства 4 176

Мороз А.П., Поленов Д.Ю. Модель передачи телеметрической информации с разгонного блока в режиме реального времени. 6 265

Пузанов А.В. Информационно-логическая модель конструкторско-технологической подготовки производства электрогидроприводов 2 88

СИСТЕМЫ И ПРИБОРЫ УПРАВЛЕНИЯ

Белик Б.В., Верба В.С., Меркулов В.И. Мониторинг подвижных источников радиоизлучений с бесстробовым отождествлением измерений. 3 129

Буренин В.В., Кириллов Н.П., Зорин В.А., Сова А.Н. Новые шестерённые насосы для объёмного гидропривода и систем гидроавтоматики машин и механизмов. 12 567

Гумаров С.Г., Золотов О.К., Волотов Е.М., Митрофанов И.В. Определение погрешности измерений, минимизирующей ошибки первого и второго рода 1 37

Елисеев В.Д., Котельникова А.В., Чемоданов В.Б., Парфёнов Н.М. Формирование директорного управления по сигналам отклонения штурвала и эталонной модели движения объекта. 7 319

Корнеев Н.В., Яницкий А.И. Мобильное телеуправление электромеханическими рекламными конструкциями. 3 124

Кофанов Ю.Н., Сотникова С.Ю. Концепция виртуального моделирования бортовых электронных средств с применением автоматизированной системы АСОНИКА 6 281

Микрин Е.А., Зубов Н.Е., Рябченко В.Н., Ефанов Д.Е., Поклад М.Н. Идентификация дискретной системы на основе матричных делителей нуля 6 269

Ноженкова Л.Ф., Исаева О.С., Вогоровский Р.В. Автоматизация испытаний командно-программного управления бортовой аппаратурой космического аппарата 4 184

Парфёнов Н.М., Чемоданов В.Б., Тимошенков А.С., Кузнецова Л.И. Исследование конструкторско-технологических особенностей формирования и разработки датчиков физических величин 1 42

Стихановский Б.Н., Чернова Е.С. Применение датчика ударной скорости в машинах ударного действия 7 327

Сулавко А.Е., Жумажанова С.С., Семёнова З.В., Ковальчук А.С., Борисов Р.В. Комплексная система распознавания водителей транспортных средств и их психофизиологического состояния по динамическим биометрическим признакам. 8 373

Хубеев М.К. Энергосберегающий пропорционально-интегральный регулятор: рациональная пассивная адаптация 6 275

Чжо Зин Хтут, Селёзнева М.С., Пролетарский А.В., Неусыпин К.А. Система контроля прицельно навигационного комплекса летательного аппарата 7 314

ОБРАЗОВАТЕЛЬНЫЕ ТЕХНОЛОГИИ

Августан О.М., Марданов С.А., Сергеев Д.А., Чернега Е.В. Методическое обеспечение организации образовательных программ опережающего инженерного образования на базе научно-образовательного центра «Технопарк информационных технологий» МГТУ им. Н.Э. Баумана. . . . 10 469

Зимин В.Н., Цибизова Т.Ю., Августан О.М. Комплексный подход к организации дополнительного образования с использованием ресурсов современного вуза 11 520

Зимин В.Н., Чернега Е.В., Августан О.М., Сергеев Д.А. Система непрерывной подготовки в научно-образовательном центре «Технопарк информационных технологий» МГТУ им. Н.Э. Баумана 11 524

Тимофеева М.С., Глазунов Д.В., Мизюков Г.С. Современные информационные технологии независимой оценки качества подготовки выпускников 7 330

Тимофеева М.С., Глазунов Д.В., Симонцева А.В., Мизюков Г.С. Компьютерная технология оценки уровня подготовки абитуриентов 5 226

Цибизова Т.Ю., Зимин В.Н. Разработка способа реализации функции абилитации студентов и выпускников образовательных организаций в современных условиях 10 465

Цибизова Т.Ю., Чернега Е.В. Исследовательская деятельность обучающегося в системе непрерывной подготовки 11 513

Чернега Е.В., Августан О.М., Марданов С.А., Сергеев Д.А. Методическое обеспечение организации образовательных программ опережающего инженерного образования на базе научно-образовательного центра «Технопарк информационных технологий» МГТУ им. Н.Э. Баумана . . . 10 469

Чернега Е.В., Августан О.М., Марданов С.А., Сергеев Д.А., Марданова К.В. Дуальное обучение в работе учебно-методического комплекса научно-образовательного центра «Технопарк информационных технологий» МГТУ им. Н.Э. Баумана. 10 473

ЭКОНОМИКА И ОРГАНИЗАЦИЯ НАУЧНОЙ И ХОЗЯЙСТВЕННОЙ ДЕЯТЕЛЬНОСТИ

Елисеев В.А., Темишев Р.Р. Особенности оценки эффективности инновационных мультипроектов 2 94

Загидуллин Р.Р. Обоснование горизонта планирования при составлении расписаний в автоматизированных системах 4 189

Иванов А.П., Пыченкова О.С. Условия и предпосылки проведения рейтинговых оценок . . . 5 234

Клочков Ю.С. Анализ эффективности разбиения на фиксированные группы при построении планов наблюдения в методе «Центр оценки» 1 45

Костюк В.И., Неусыпин К.А. Исследование особенностей инвестирования на рынке ценных бумаг 5 230

Микаева А.С. Необходимость интеграции стратегии технологического развития с корпоративной стратегией предприятия приборостроения 6 285

Орлова Е.В. Оценка системной эффективности технических решений в производственно-технологических системах 3 134

Скрыпников А.В., Чернышова Е.В., Быстрянцев Е.В., Логойда В.С. Методика определения рациональных параметров информационного обеспечения автомобильного транспорта 8 381

Скрыпников А.В., Чернышова Е.В., Быстрянцев Е.В., Логойда В.С. Исследование технологии экспертной оценки качества информационного обеспечения автомобильного транспорта. . . 9 429

Скрыпников А.В., Чернышова Е.В., Микова Е.Ю., Логойда В.С. Выбор критерия решений при управлении информационным обеспечением автомобильного транспорта 10 476

ОБЗОР ПЕРИОДИЧЕСКОЙ ПЕЧАТИ

По страницам журналов 1, 3, 6, 7, 10

Указатель статей, опубликованных в журнале «Автоматизация. Современные технологии» в 2017 г. 12 572