

МОЛОДОЙ

ISSN 2072-0297

УЧЁНЫЙ

научный журнал



Synthetic
rubber

В
2015
Часть II

ISSN 2072-0297

Молодой учёный

Научный журнал

Выходит два раза в месяц

№ 13 (93) / 2015

РЕДАКЦИОННАЯ КОЛЛЕГИЯ:

Главный редактор: Ахметова Галия Дуфаровна, *доктор филологических наук*

Члены редакционной коллегии:

Ахметова Мария Николаевна, *доктор педагогических наук*

Иванова Юлия Валентиновна, *доктор философских наук*

Каленский Александр Васильевич, *доктор физико-математических наук*

Куташов Вячеслав Анатольевич, *доктор медицинских наук*

Лактионов Константин Станиславович, *доктор биологических наук*

Сараева Надежда Михайловна, *доктор психологических наук*

Авдеюк Оксана Алексеевна, *кандидат технических наук*

Айдаров Оразхан Турсункожаевич, *кандидат географических наук*

Алиева Тарана Ибрагим кызы, *кандидат химических наук*

Ахметова Валерия Валерьевна, *кандидат медицинских наук*

Брезгин Вячеслав Сергеевич, *кандидат экономических наук*

Данилов Олег Евгеньевич, *кандидат педагогических наук*

Дёмин Александр Викторович, *кандидат биологических наук*

Дядюн Кристина Владимировна, *кандидат юридических наук*

Желнова Кристина Владимировна, *кандидат экономических наук*

Жуйкова Тамара Павловна, *кандидат педагогических наук*

Жураев Хусниддин Олтинбоевич, *кандидат педагогических наук*

Игнатова Мария Александровна, *кандидат искусствоведения*

Коварда Владимир Васильевич, *кандидат физико-математических наук*

Комогорцев Максим Геннадьевич, *кандидат технических наук*

Котляров Алексей Васильевич, *кандидат геолого-минералогических наук*

Кузьмина Виолетта Михайловна, *кандидат исторических наук, кандидат психологических наук*

Кучерявенко Светлана Алексеевна, *кандидат экономических наук*

Лескова Екатерина Викторовна, *кандидат физико-математических наук*

Макеева Ирина Александровна, *кандидат педагогических наук*

Матроскина Татьяна Викторовна, *кандидат экономических наук*

Матусевич Марина Степановна, *кандидат педагогических наук*

Мусаева Ума Алиевна, *кандидат технических наук*

Насимов Мурат Орленбаевич, *кандидат политических наук*

Прончев Геннадий Борисович, *кандидат физико-математических наук*

Семахин Андрей Михайлович, *кандидат технических наук*

Сенцов Аркадий Эдуардович, *кандидат политических наук*

Сенюшкин Николай Сергеевич, *кандидат технических наук*

Титова Елена Ивановна, *кандидат педагогических наук*

Ткаченко Ирина Георгиевна, *кандидат филологических наук*

Фозилов Садриддин Файзуллаевич, *кандидат химических наук*

Яхина Асия Сергеевна, *кандидат технических наук*

Ячинова Светлана Николаевна, *кандидат педагогических наук*

АДРЕС РЕДАКЦИИ:

420126, г. Казань, ул. Амирхана, 10а, а/я 231. E-mail: info@moluch.ru; <http://www.moluch.ru/>.

Учредитель и издатель: ООО «Издательство Молодой ученый»

Тираж 1000 экз.

Отпечатано в типографии издательства «Молодой ученый», 420029, г. Казань, ул. Академика Кирпичникова, 26

Журнал зарегистрирован Федеральной службой по надзору в сфере связи, информационных технологий и массовых коммуникаций.

Свидетельство о регистрации средства массовой информации ПИ № ФС77-38059 от 11 ноября 2009 г.

Журнал входит в систему РИНЦ (Российский индекс научного цитирования) на платформе elibrary.ru.

Журнал включен в международный каталог периодических изданий «Ulrich's Periodicals Directory».

Ответственные редакторы:

Кайнова Галина Анатольевна

Осянина Екатерина Игоревна

Международный редакционный совет:

Айрян Заруи Геворковна, кандидат филологических наук, доцент (Армения)

Арошидзе Паата Леонидович, доктор экономических наук, ассоциированный профессор (Грузия)

Атаев Загир Вагитович, кандидат географических наук, профессор (Россия)

Бидова Бэла Бертовна, доктор юридических наук, доцент (Россия)

Борисов Вячеслав Викторович, доктор педагогических наук, профессор (Украина)

Велковска Гена Цветкова, доктор экономических наук, доцент (Болгария)

Гайич Тамара, доктор экономических наук (Сербия)

Данатаров Агахан, кандидат технических наук (Туркменистан)

Данилов Александр Максимович, доктор технических наук, профессор (Россия)

Демидов Алексей Александрович, доктор медицинских наук, профессор (Россия)

Досманбетова Зейнегуль Рамазановна, доктор философии (PhD) по филологическим наукам (Казахстан)

Ешиев Абдыракман Молдоалиевич, доктор медицинских наук, доцент, зав. отделением (Кыргызстан)

Жолдошев Сапарбай Тезекбаевич, доктор медицинских наук, профессор (Кыргызстан)

Игисинов Нурбек Сагинбекович, доктор медицинских наук, профессор (Казахстан)

Кадыров Кутлуг-Бек Бекмурадович, кандидат педагогических наук, заместитель директора (Узбекистан)

Кайгородов Иван Борисович, кандидат физико-математических наук (Бразилия)

Каленский Александр Васильевич, доктор физико-математических наук, профессор (Россия)

Козырева Ольга Анатольевна, кандидат педагогических наук, доцент (Россия)

Колпак Евгений Петрович, доктор физико-математических наук, профессор (Россия)

Куташов Вячеслав Анатольевич, доктор медицинских наук, профессор (Россия)

Лю Цзюань, доктор филологических наук, профессор (Китай)

Малес Людмила Владимировна, доктор социологических наук, доцент (Украина)

Нагервадзе Марина Алиевна, доктор биологических наук, профессор (Грузия)

Нурмамедли Фазиль Алигусейн оглы, кандидат геолого-минералогических наук (Азербайджан)

Прокопьев Николай Яковлевич, доктор медицинских наук, профессор (Россия)

Прокофьева Марина Анатольевна, кандидат педагогических наук, доцент (Казахстан)

Рахматуллин Рафаэль Юсупович, доктор философских наук, профессор (Россия)

Ребезов Максим Борисович, доктор сельскохозяйственных наук, профессор (Россия)

Сорока Юлия Георгиевна, доктор социологических наук, доцент (Украина)

Узаков Гулом Норбоевич, кандидат технических наук, доцент (Узбекистан)

Хоналиев Назарали Хоналиевич, доктор экономических наук, старший научный сотрудник (Таджикистан)

Хоссейни Амир, доктор филологических наук (Иран)

Шарипов Аскар Калиевич, доктор экономических наук, доцент (Казахстан)

Художник: Шишков Евгений Анатольевич

Верстка: Бурьянов Павел Яковлевич

На обложке изображен Сергей Васильевич Лебедев (1874–1934) — русский учёный-химик, основоположник промышленного способа получения синтетического каучука.

.Статьи, поступающие в редакцию, рецензируются. За достоверность сведений, изложенных в статьях, ответственность несут авторы. Мнение редакции может не совпадать с мнением авторов материалов. При перепечатке ссылка на журнал обязательна. Материалы публикуются в авторской редакции.

СОДЕРЖАНИЕ

ТЕХНИЧЕСКИЕ НАУКИ

- Исакулова М. Ш., Каримова Ф. С., Ваккасов С. С., Мардонов З. А.**
Компьютерное моделирование пассивации частных дефектов нанокластера кремния 119
- Кириллова К. В.**
Исследование механизма криптозащиты RFID-карты Hitag и его уязвимостей для атак..... 121
- Кокорева Я. В., Макаров А. А.**
Поэтапный процесс кластерного анализа данных на основе алгоритма кластеризации k-means . 126
- Кондрашин В. И., Рыбакова Н. О., Ракша С. В., Шамин А. А., Николаев К. О.**
Прозрачные проводящие покрытия на основе оксидов металлов. Технологии получения, свойства и области применения 128
- Коровкин М. О., Ерошкина Н. А., Теплова М. Ф., Коровченко И. В.**
Исследование кинетики водопоглощения мелкозернистого бетона 132
- Липский М. Ю.**
Проектирование детектора сигналов средств беспроводного доступа..... 135
- Лопатин О. П.**
Влияние применения природного газа на показатели процесса сгорания и содержание оксидов азота в цилиндре дизеля с турбонаддувом 139
- Лопатин О. П.**
Динамика тепловыделения газодизеля при работе с рециркуляцией..... 141
- Лопатин О. П.**
Индицирование рабочего процесса газодизеля при работе с рециркуляцией..... 144
- Лопатин О. П.**
Исследование показателей процесса сгорания газодизеля в зависимости от изменения нагрузки при работе с рециркуляцией..... 147
- Лопатин О. П.**
Нагрузочные характеристики токсичности газодизеля при работе с рециркуляцией 149
- Лопатин О. П.**
Регулировочные характеристики содержания токсичных компонентов в ОГ дизеля при работе с рециркуляцией 152
- Магеррамов Р. В.**
Процесс тестирования интегральных микросхем 154
- Оганесян О. А.**
Исследование процессов распространения и горения водорода в герметичных помещениях энергоблока ВВЭР-440 в случае тяжелой аварии 158
- Олимов М., Каримов П., Исмоилов Ш. М.**
К решению краевых задач пространственных стержней при переменных упруго-пластических нагружениях 162
- Певченко С. С.**
Методы интеллектуального анализа данных... 167
- Певченко С. С.**
Разработка бизнес-аналитики с использованием SQL SERVER ANALYSIS SERVICES 2010..... 169
- Поезжаева Е. В., Новикова А. А., Сайкинова В. А.**
Повышение точности позиционирования хирургического робота «Да Винчи» 172
- Поезжаева Е. В., Юртаев Р. И., Чудинов В. А.**
Электробалластер (electric ballasting machine) 174

Рахимов Р. В. Исследования напряженно-деформированного состояния кузова вагона-хоппера для перевозки цемента 178	Суверова Н. П. Оценивание параметра задержки, не управляемое решениями 204
Ребезов М. Б., Нурымхан Г. Н., Канарейкина С. Г. Обзор патентных источников кисломолочной продукции 182	Сурков В. О. Направления повышения качества функционирования навигационных систем для подвижных наземных объектов при решении навигационных задач 209
Скрябин М. Л. Влияние отработавших газов автомобильного транспорта на окружающую среду 185	Сурков В. О. Сравнительный анализ отечественных и зарубежных систем навигации подвижных наземных объектов..... 211
Скрябин М. Л. Способы снижения содержания оксидов азота в отработавших газах дизелей 187	Чаплыгина М. П. Показатели угроз безопасности на уровнях модели OSI 214
Скрябин М. Л. Комплексные системы очистки отработавших газов дизелей 189	Чемезов Д. А. Расчет на усталость винта с упорной резьбой в программной среде SolidWorks 217
Скрябин М. Л. Методы селективного некаталитического восстановления оксидов азота в отработавших газах дизелей 192	Черняк А. А. Разработка модуля приема видеoinформации с ПЗС-сигнального процессора 222
Скрябин М. Л. Снижение токсичности отработавших газов дизелей путем применения турбонаддува и промежуточного охлаждения надувочного воздуха 194	Шинкин В. Н. Упругопластическая деформация металлического листа на трехвалковых вальцах 225
Скрябин М. Л. Образование группы термических оксидов азота в процессе горения углеводородных топлив .. 197	Шомирзаев Б. У., Юнусова С. Т., Мамиров У. Ф. Робастное управление нелинейными нестационарными динамическими объектами 230
Спиридонов Р. С. Автоматизированная среда оценки усвоения студентом учебного материала 199	Юдин В. А. Облачный способ организации защищенных каналов связи для объединения сетей 233

ТЕХНИЧЕСКИЕ НАУКИ

Компьютерное моделирование пассивации частных дефектов нанокластера кремния

Исакулова Мукаддас Шукуровна, ассистент;
 Каримова Феруза Сатторовна, ассистент;
 Ваккасов Собир Сайфуллаевич, старший преподаватель
 Джизакский политехнический институт (Узбекистан)

Мардонов Зиёдулла Абдуллаевич, ассистент
 Джизакский государственный педагогический институт им. А. Кадыри (Узбекистан)

XI век является переходным от микроэлектроники к наноэлектронике. Основой наноэлектроники являются наноразмерные кремниевые материалы. На электрофизические и люминесцентные свойства нанокремния заметное влияние оказывают внутренние его дефекты. К таким дефектам относятся дефекты вакансии и частные межузловые атомы. С изменением концентрации этих дефектов будет возможным управлять различные их свойства. Атомами водорода при этом пользуются для частичной нейтрализации и для пассивации их воздействия. Однако до настоящего времени недостаточно изучены электронные строения пассивируемых водородом дефекты нанокремния, а также динамика изменения локальных подуровней запрещенных зон и точная конфигурация структур дефекта.

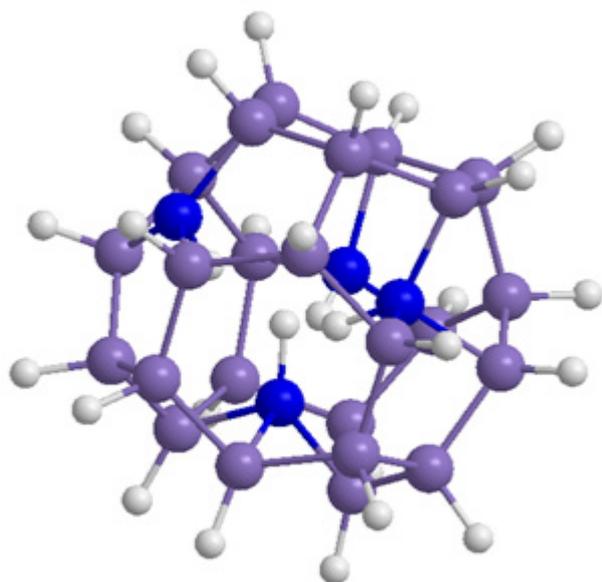


Рис. 1.

Нами изучено процесс пассивации водородом вакансии и частные межузловые дефекты атома кремния на 29 образцах атома кремния нетрадиционным методом сильной связи. (рис. 1) [1]

В данном разделе мы провели исследование эффекта пассивации болтающихся орбиталей атомов кремния, возникших на месте центрального атома в результате образования вакансии. При этом, рассмотрение проблемы мы разделили на три задачи: вычисление термодинамических параметров комплексов водород-вакансия, исследование зависимости структуры и симметрии вакансионного центра от количества водорода, исследование природы локальных уровней, связанных с комплексом VH_n .

В качестве модели наночастицы нами выбран наноразмерный кластер Si_{29} с димеризованной поверхностью и однократным насыщением поверхностных атомов кремния атомами водорода в количестве 24 атома. Эти кластеры являются атомно-центрированными и симметрия центрального атома является тетраэдрической. При рассмотрении вакансии, центральный атом был удален из кластера и в дальнейшем геометрия кластера была подвержена оптимизации. В результате релаксации атомов кластера, атомы кремния — первые соседи вакансии отдаляются друг от друга неравномерно и симметрия центра переходит от тетраэдрической к C_{3v} . Вторые соседи вакансии также отодвигаются и расстояния между первыми и вторыми соседями вакансии становятся равным 2,28 Å, причем поверхностные 6 атомов кремния, расположенные за образованным основанием пирамиды центра, образуют между собой шестиугольник (рис. 2 отмечены красным цветом), все вершины-атомы которого лежат на одной плоскости. Расстояния между атомами — первыми соседями вакансии становятся равным 4,2

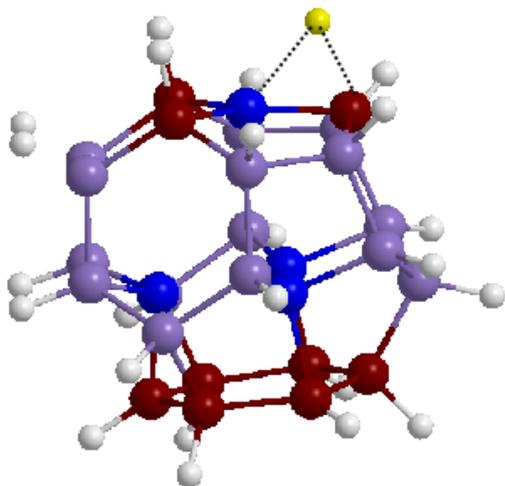


Рис. 2.

А между вершиной пирамиды и атомами основания, 3,1 А между атомами основания пирамиды. Причем вершинный атом становится посередине треугольника, образованного вторыми соседями (рис. 2 отмечены красным цветом). Вследствие этого ближайший атом водорода, соединенный с поверхностным атомом, сдвигается в связицентрированное положение в сторону появившегося атома кремния в центре треугольника (рис. 2, атом водорода отмечен желтым цветом, связицентрированная связь водорода показана пунктирной линией). При этом длина связи Si-H-Si равна 2,436 А — 2,067 А. Вместе с тем, длина этой Si-Si связи укорачивается и становится равным 2,23 А (другие 2,27 А).

Мы рассматривали влияние количества внедренного водорода в вакансию на устойчивость кластера, симметрию расположения атомов, ее конфигурацию. Знание конфигурационного строения комплексов вакансии с водородом позволит выявлять особенности связывания между ними из соображений симметрии и межатомных расстояний. Сначала мы рассматривали вакансию, куда был помещен один атом водорода, который был соединен с одним из атомов кремния — соседа вакансии. При оп-

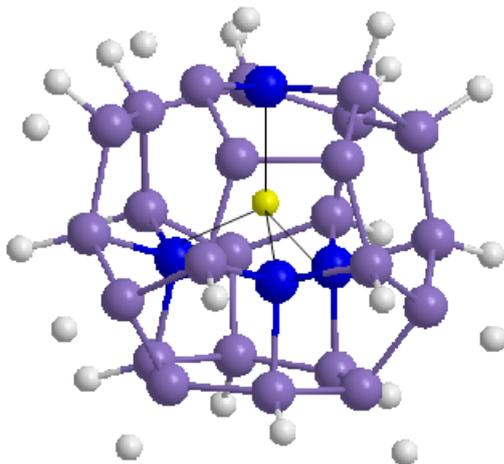


Рис. 3.

тимизации геометрии кластера, атом водорода сместился в центр вакансии с несимметричным расположением между парами атомов. Атомы водорода, прикрепленные к поверхностным атомам, ближайшим к основанию треугольника удалились на 0,08 А.

При помещении второго атома водорода в центр вакансии, один из центральных атомов водорода образует химическую Si-H связь с одним из атомов кремния основания пирамиды с длиной связи 1,57 А. Второй атом водорода размещается в центре треугольника образованного остальными тремя атомами кремния — первыми соседями вакансии с расстоянием до каждого из них 2,15А, 2,48А и 2,48А. Два атома водорода на поверхности отсоединяются от кластера с образованием молекулы водорода.

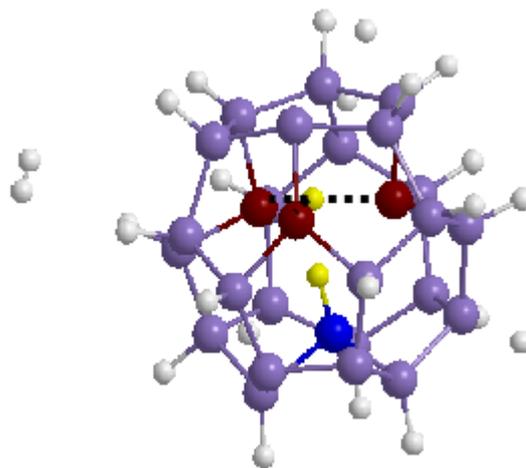


Рис. 4.

Внедрение третьего атома водорода в полость вакансии приводит к образованию полноценных трех Si-H связей в центре, причем один из атомов водорода связывается с наиболее удаленным атомом кремния.

Присоединение четвертого атома водорода к вакансии приводит к идеальной тетраэдрической форме центра

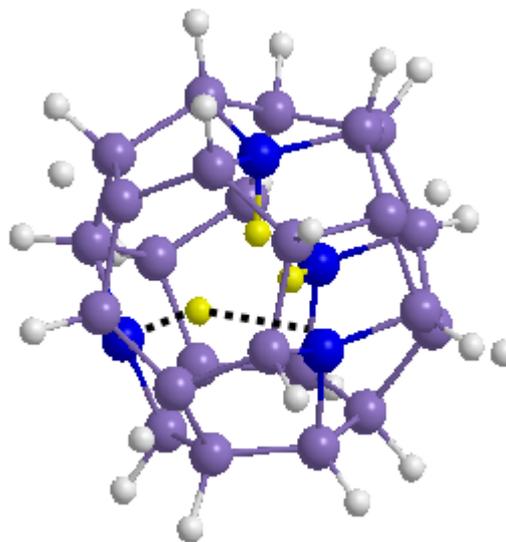


Рис. 5.

с полным насыщением всех атомов кремния и образованием Si-H связей. При этом, однако, шестиугольная форма основания кластера сохраняется.

Большой интерес представляют люминесцентные свойства наноразмерного кремния в диапазоне синего цвета видимой части электромагнитных волн, который открывает широкие возможности использования в качестве дисплеев и биозондов. Подобными свойствами обладают кремниевые квантовые точки с размерами 1–3 нм. Однако, катастрофическое влияние на электрофизические и оптоэлектронные свойства кремниевых наноматериалов оказывают примесные дефекты, содержащиеся в узлах и междоузлиях нанокремния. Теоретическое изучение по-

ведения типичных дефектов, как углерод и водород в нанокремнии позволяют прогнозировать изменение свойств материалов, разработать методы повышения устойчивости электронных приборов на их основе в критических условиях внешней радиации, повышенного давления и других.

В данной работе нами исследовано влияние полной водородной пассивации вакансий на пространственную и электронную структуру нанокластера кремния, распределение зарядов между атомами, характер и динамику локальных уровней в запрещенной зоне комбинированным методом молекулярной динамики и нетрадиционного метода сильной связи.

Литература:

1. Khakimov, Z. M., P. L. Tereshchuk, N. T. Sulaymonov, F. T. Umarova, M. T. Swihart. Non-conventional tight-binding method for calculation of total energy and spectroscopic energies of atomic clusters. Transferable parameters for silicon. // Phys. Rev. B. — 2005. — V. 72. — P. 115335 (1–11).

Исследование механизма криптозащиты RFID-карты Hitag и его уязвимостей для атак

Кириллова Ксения Валерьевна, студент

Национальный исследовательский университет «Московский институт электронной техники»

Данная работа посвящена исследованию защищенных носителей информации, использующих технологию радиочастотной идентификации (RFID). Эта технология широко используется во всем мире в десятках применений. С некоторым отставанием, но весьма интенсивно она развивается и в России. Работа касается одного из применений RFID, а именно в системах безопасности объектов, в частности, в системах контроля и управления доступом (СКУД).

Актуальность и новизна темы заключается в том, что в настоящее время в российских системах контроля и управления доступом с применением RFID в подавляющем большинстве случаев применяются незащищенные носители (карты) и даже чаще всего типа read only. Существует запрос на повышение надежности ограничения доступа на режимные объекты и предприятия. Рассмотрению подлежит криптозащищенная карта Hitag.

1 Принципы построения и области применения RFID-систем

Система радиочастотной идентификации состоит из 2 основных компонентов:

- транспондер;
- считывающее устройство.

Транспондеры могут быть выполнены в виде диска, ключа, брелока, бесконтактной карты, этикетки и других конструкций. Преимущество формы бесконтактной чип-карты для использования в RFID-системах с индуктивной

связью заключается в большой площади антенны, представляющей собой плоскую катушку, благодаря чему данные транспондеры могут иметь большую дальность действия. Кроме того, эта форма наиболее удобна при переносе, хранении. Поэтому объектом исследования являются ВЧ RFID-карты, используемые в системах контроля и управления доступом (СКУД), виды атак и методы защиты от них.

Системы RFID находят свое применение в самых различных областях, вот лишь некоторые из них:

- системы идентификации животных;
- контроль доступа;
- системы продажи билетов, в том числе на общественном транспорте;
- система euroglobalise;
- электронные иммобилайзеры и др. [1].

Это лишь некоторые сферы применения систем RFID.

Несмотря на активную деятельность компаний — производителей RFID продукции стоит отметить, что на Российском рынке пока существуют некоторые факторы,

сдерживающие продвижение RFID: высокая стоимость оборудования; низкий уровень технологической базы, используемой на предприятиях потребителя; нехватка российских стандартов; низкая осведомленность потребителей.

Применение RFID особенно хорошо отработано и распространено в системах контроля и управления доступом.

Существует ряд компаний, которые зарекомендовали себя в качестве крупнейших производителей микросхем для RFID-меток и считывателей, среди них NXP Semiconductors, Infineon, Texas Instruments, Inside, EM Marin, и другие. Безусловным лидером производства микросхем для бесконтактных микросхем и RFID является NXP Semiconductors: на долю этой компании приходится 80%. На рынке представлен огромный выбор RFID-носителей (карт): Hitag, Mifare 1K Classic, Mifare Plus, Mifare Ultralight, Mifare Desfire, HID iCLASS, NFC. Для подробного рассмотрения в качестве примера выберем криптозащищенную карту Hitag.

2 Hitag

Первые бесконтактные Smart-карты появились на рынке в конце 1990-х гг. и существенно отличались от тех, что были прежде. Они создавались в соответствии с требованиями Международной организации по стандартизации (ISO), имели функцию защищенного взаимодействия благодаря использованию различных криптографических механизмов и позволяли не только считывать id карты, но и хранить на ней информацию.

2.1 Протокол аутентификации

Протокол аутентификации, используемый в Hitag 2 в крипторежиме, был восстановлен с помощью обрат-

ного проектирования (реверс инжиниринга) и опубликован в 2007 году (рисунок 1). Считыватель посылает команду аутентификации, в ответ на которую карта посылает id. С этого момента взаимодействие шифруется путем выполнения операции XOR с ключевым потоком. Считыватель отвечает зашифрованным вызовом n_R и зашифрованным ответом $a_R = 0xFFFFFFFF$. Чтобы доказать знание ключа, карта заканчивает аутентификацию, посылая зашифрованный ответ a_T , содержащийся в блоке 3.

Во время выполнения протокола аутентификации внутреннее состояние потокового шифратора инициализируется. Исходное состояние состоит из 32-х битового идентификатора карты, и первых 16-ти битов ключа. Затем считыватель генерирует n_R , выполняя операцию XOR последних 32 бит ключа, задвигаемых в шифратор с его выходом. Во время инициализации обратная связь с РСЛОС отключена. Так как обмен зашифрован, начиная с n_R и далее, на шифрование конечных битов n_R влияет шифрование предыдущих битов. Аутентификация достигается за счет получения того же самого внутреннего состояния шифратора после сдвига n_R .

2.2 Шифратор Hitag

В режиме шифрования информация между картой и считывателем (после успешной аутентификации) шифруется с потоковым шифром Hitag2. Шифратор состоит из 48-битного РСЛОС и нелинейной фильтрующей функции f . В каждом такте двадцать битов РСЛОС проходят через фильтрующую функцию f , создавая один бит ключевого потока. Тогда РСЛОС смещается на один бит влево, используя полином для генерирования нового бита справа. На рисунке 2 схематическое представление шифратора Hitag2.

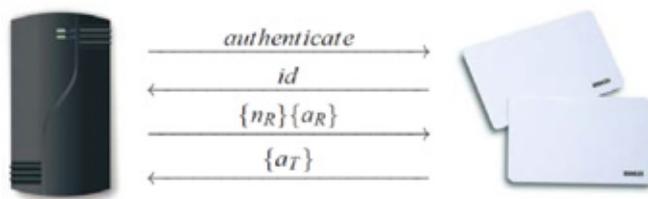


Рис. 1. Протокол аутентификации Hitag2

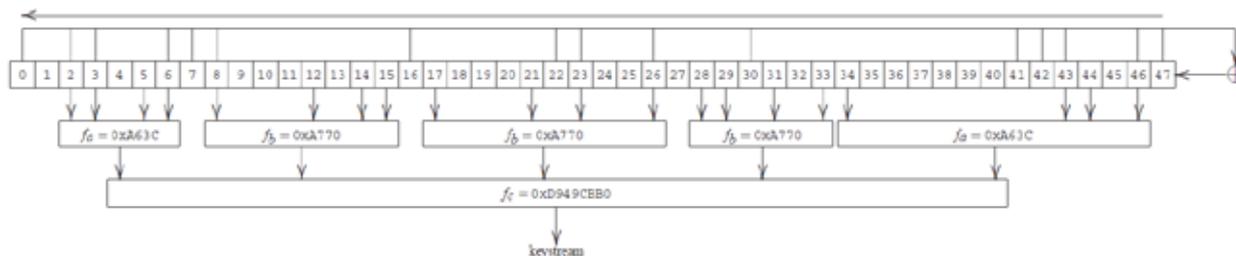


Рис. 2. Шифратор Hitag2

Определение 1: Функция обратной связи $L: F_2^{48} \rightarrow F_2$ определяется

$$L(x_0 \dots x_{47}) = x_0 \oplus x_2 \oplus x_3 \oplus x_6 \oplus x_7 \oplus x_8 \oplus x_{16} \oplus x_{22} \oplus x_{23} \oplus x_{26} \oplus x_{30} \oplus x_{41} \oplus x_{42} \oplus x_{43} \oplus x_{46} \oplus x_{47}.$$

Фильтрующая функция f состоит из трех различных функций f_a , f_b и f_c . На выход каждой из них приходится один бит. Функции f_a и f_b применяются более одного раза, используя в общей сложности двадцать входных бит из РСЛОС. Эти результирующие биты применяются в качестве входных данных для f_c . Функции представлены тремя логическими таблицами, которые содержат результирующие биты для каждого входа.

Определение 2: Фильтрующая функция $f: F_2^{48} \rightarrow F_2$ определяется

$$f(x_0 \dots x_{47}) = f_c(f_a(x_2x_3x_5x_6), f_b(x_8x_{12}x_{14}x_{15}), f_b(x_{17}x_{21}x_{23}x_{26}), f_b(x_{28}x_{29}x_{31}x_{33}), f_a(x_{34}x_{43}x_{44}x_{46})),$$

$$\text{где } f_a, f_b: F_2^4 \rightarrow F_2 \text{ и } f_c: F_2^5 \rightarrow F_2; f_a(i) = (0xA63C)_i; f_b(i) = (0xA770)_i; f_c(i) = (0xD949CBB0)_i.$$

Каждый из блоков f (и, следовательно, сама f) обладает свойством выдавать ноль для половины возможных входов (и единицу соответственно) [2].

2.3 Особенности реализации Nitag2

В этом разделе описаны три слабых места в устройстве Nitag2. Первым является недостаток протокола, а последние два — слабостью конструкции шифратора.

2.3.1 Случайная длина ключевого потока

Эта слабость описывает, что без знания секретного ключа, но, имея попытку только одной аутентификации, можно получить любую нужную длину ключевого потока от карты. В [13] описываются команды считывателя, которые могут изменять или прекращать работу карты Nitag2. Можно увеличить длину такой команды на величину, кратную пяти битам. 10-битная команда может иметь дополнительное число сообщений g с резервированием, так что общее количество бит в сообщении составит $10 + 5g$ бит. Из-за ограничения по мощности и памяти, Nitag2, похоже, не имеет приёмопередающего буфера. Таким образом, все операции шифрации выполняются непосредственно при получении или передачи битов. Эксперименты показывают, что карта Nitag2 успешно принимает зашифрованные команды от считывателя, которые направляются с 1000 сообщениями избыточности. Размер такой команды состоит из $10 + 5 \times 1000 = 5010$ бит.

Поскольку не существует никакой дополнительной проверки от карты можно повторить любую действительную пару $\{n_R\} \{a_R\}$ к карте, чтобы достичь успешной аутентификации. После получения a_T , внутреннее состояние карты инициализируется и ждет зашифрованной команды от считывателя, как определено на рисунке 5. Все возможные комбинации должны быть оценены без знания ключевого потока $b_{96}b_{97} \dots$, и далее. Команда состоит из по крайней мере, 10 битов, поэтому есть 210 возможностей. Каждая команда требует 3-битный параметр, содержащий номер блока. Обе команды $read$ и $!read$ получают 32-битный ответ, в то время как операции записи и прекращения имеют разную длину отклика.

Следовательно, при поиске 10-битных зашифрованных команд которые получают 32-битный ответ, существует ровно 16 из 210 значений, которые подходят. В среднем первая команда $read$ находится после 32 попыток, дополнение к этой команде $read$ и её линейным параметрам изменяется линейно и требует всего лишь еще 15 попыток.

Один из 16 догадок представляет зашифрованные биты команды чтения на первом блоке памяти. Этот блок содержит идентификатор, который известен в виде открытого текста, так как он передается в открытом виде во время аутентификации. Таким образом, есть предположение, так что передаваемые биты равны сообщению на рисунке 6.

При правильной догадке могут быть восстановлены 40 бит ключевого потока. Этот ключевой поток затем используется для шифрования команды $read$ слегка измененный на блоке 0 с шестью избыточными сообщениями, как описано в [13] Транспондер отвечает следующими 32-битами ключевого потока, которые используются для шифрования карты. Следовательно, ближайшие 30 бит ключевого потока были получены с помощью ранее восстановленного ключевого потока и расширения команды $read$. Эта операция может быть повторена много раз. Например, с использованием выделенного ключевого потока $b_{96} \dots b_{167}$ можно построить 70-разрядную команду $read$ с 12 избыточными сообщениями. На практике восстановление 2048 бит ключевого потока занимает менее 30 секунд.

2.3.2 Зависимости между сессиями

В статье [2] показано, что при состоянии шифратора α_{79} шифратор полностью инициализируется, а с этого момента шифратор только производит ключевой поток. Это показывает, что 48-битное внутреннее состояние шифра рандомизировано только 32-битным параметром n_R . Следовательно, в состоянии α_{79} только биты РСЛОС с 16 по 47 влияют на считыватель. Поэтому биты регистра с 0 по 15 остаются неизменными на протяжении сессии, что дает сильную зависимость между ними. Эти неизменные 16 бит сессии соответствуют битам $k_0 \dots k_{15}$ секретного ключа.

2.3.3 Низкий уровень детерминации фильтрующей функции

Фильтрующая функция $f: F_2^{48} \rightarrow F_2$ состоит из трех блоков f_a , f_b и f_c , расположенных в двух слоях структуры. Из-за этой определенной структуры, входные биты $a_{34} \dots a_{47}$ влияют только на правый входной бит f_c . Кроме того, простой осмотр f_c показывает, что в 8 из 32 конфигураций входных битов, правый вход не имеет никакого влияния на выходе f_c . В других случаях, выход f_c определяется ее 4-мя левыми входными битами. Кроме того, это означает, что с вероятностью $1/4$ фильтрующая функция f определяет 34-левых бита внутреннего состояния. Следующая теорема утверждает это точно.

Теорема 1. Пусть X — переменная, равномерно распределенная на F_2^{34} , тогда

$$P[\forall Y, Y' \in F_2^{14}: f(XY) = f(XY')] = 1/4$$

Доказательство.

Определение 1. Функция, которая проверяет это свойство $P: F_2^{48} \rightarrow F_2$ определяется через

$$P(x_0 \dots x_{47}) = (0x84D7)_i,$$

где $i = f_a(x_2x_3x_5x_6) f_b(x_8x_{12}x_{14}x_{15}) f_b(x_{17}x_{21}x_{23}x_{26}) f_b(x_{28}x_{29}x_{31}x_{33})$.

Так как $P(x_0 \dots x_{47})$ зависит только от $x_0 \dots x_{33}$, мы перегрузим значение и будем рассматривать $P(\cdot)$ как функцию $F_2^{34} \rightarrow F_2$, записывая $P(x_0 \dots x_{47})$ как $P(x_0 \dots x_{33}0^{14})$.

2.4 Атаки на Nitag2

Данный раздел описывает три вида атак на Nitag2. Первая атака прямая и предоставляет противнику доступ к чтению\записи памяти транспондера (карты). С помощью метода криптоанализа, описанного во второй атаке, можно восстановить секретный ключ после нескольких сеансов взаимодействия считывателя и карты. Эта атака использует основные техники, которые могут быть также применены к другим основанным на РСЛОС потоковым шифрам. Третья атака описывает особый вид криптоанализа шифра Nitag2. Ему необходимо лишь несколько попыток аутентификации со считывателем, и он позволяет противнику восстановить секретный ключ с вычислительной сложностью в 2^{35} операций. Последние две атаки предлагают компромисс между временем\памятью\данными и временем\трассами соответственно. Для упрощения атаки описаны со значениями либо оптимальными, либо с теми, которые являются «разумными» с точки зрения доступного оборудования.

2.4.1 Атака с изменением сообщения

Эта атака использует уязвимость предсказания ключевого потока произвольной длины, и тот факт, что во время действия алгоритма аутентификации карта не производит проверку считывателя. Эта известная уязвимость позволяет противнику сначала получить доступ к ключевому потоку, а затем использовать его для чтения или записи любых блоков (данных) на карте с постоянными сообщениями и вычислительной сложностью.

После восстановления битов ключевого потока $b_{96} \dots b_{137}$ противник может получить дампы памяти карты, в котором хранится его пароль. Восстановление ключевого потока и создание дампа памяти занимает в общей сложности меньше секунды и требует лишь находиться в радиусе действия считывателя.

Блоки памяти, хранящие криптографический ключ, имеют дополнительный защитный механизм. В них есть однократно программируемый бит, который определяет доступность данных блоков для чтения. Если считывающее устройство пытается прочитать защищенный блок — карта не отвечает. Если карта настроена некорректно (не запрограммирован защитный бит), она позволяет противнику считать все необходимые данные.

2.4.2 Атака по времени\памяти

Данный вид атаки может быть применен к любым основанным на РСЛОС потоковым шифрам, пока доступен смежный ключевой поток. Так и происходит с Nitag2. Эта атака требует налаженного взаимодействия считываю-

щего устройства с транспондером. Следующее утверждение представляет небольшой трюк, с помощью которого можно выполнить n шагов шифра за раз. Интуитивно данное утверждение показывает, что линейная разница между состоянием s и его n -м потомком, это комбинация линейных разниц, генерируемых каждым битом. Это будет в дальнейшем использовано в атаке.

Утверждение 1:

Пусть у нас есть РСЛОС состояние и $n \in \mathbb{N}$. Далее, пусть $d_i = \text{suc}^n(2^i)$, то есть состояние РСЛОС, получаемое выполнением n шагов шифратора от состояния 2^i , т.е. $\text{suc}^n(s) = \bigoplus_{i=0}^{n-1} (d_i, s_i)$

Для выполнения атаки противник A выполняет следующие действия:

1. A однократно создает таблицу, содержащую 2^{37} элементов. Каждый элемент таблицы имеет вид (ks, s) , где $s \in F_2^{48}$ это состояние РСЛОС и $ks \in F_2$ это 48 битов ключевого потока, созданных в результате выполнения шифрации из s . Начиная с некоего состояния где $s \neq 0$, A создает 48 битов ключевого потока и хранит их. Затем противник использует Утверждение 1 чтобы быстро перейти к следующему элементу таблицы, пропуская $n=2^i$ состояний шифра. Это уменьшает вычислительную сложность таблицы от 2^{48} до $2^{37} \times 48 = 2^{42.5}$ тактов шифрации. Более того, для улучшения времени поиска по таблице, она разделена на 2^{24} подтаблиц, структурированных в виде $/ks_byte1/ks_byte2/ks_byte3$. bin, где каждый файл занимает объем 8 КБ. Общий объем таблицы 1.2ТБ.

2. A эмулирует карту и запускает попытку аутентификации со считывателем. Согласно протоколу аутентификации, считыватель отвечает сообщением $\{n_R\} \{a_R\}$.

3. Далее, противник удаленно транслирует сообщение для легитимной карты и, используя уязвимость, получает 256 байт ключевого потока. Это может быть исполнено пока ключ находится в сумке или кармане жертвы.

4. A устанавливает $i=0$.

5. Далее он ищет ключевой поток $ks_i \dots ks_{i+47}$ в таблице из шага 1.

6. Если искомым ключ не найден, i инкрементируется и повторяется шаг 5. Если совпадение найдено, то данный ключ устанавливается как искомым, и противник с помощью оставшихся битов ключевого потока утверждает текущее состояние как внутреннее состояние шифратора.

7. Далее противник использует откат состояния шифратора и восстанавливает секретный ключ.

Сложность и время.

На шаге 1 противнику необходимо вычислить таблицу объемом 1,2 ТБ, что эквивалентно 2^{37} кодированиям. Во время генерации каждый элемент хранится в соответствующем файле. bin. Каждый из этих 8 КБ файлов также должен быть отсортирован, но это занимает всего несколько минут. Вычисление и сортировка всей таблицы занимает в среднем день на стандартном ноутбуке. Шаги 2–3 требуют около 30 секунд для получения 256 байт ключевого потока от карты. Шаги 4–6 требуют (в худшем случае) 2000 просмотра таблицы, что занимает около 30 секунд

на стандартном ноутбуке. Таким образом, для осуществления атаки с начала и до конца требуется одна минута.

2.4.3 Криптоаналитическая атака

Комбинация уязвимостей из пп. 2.3.1—2.3.3 позволяет противнику получить секретный ключ после нескольких попыток аутентификации со считывателем. В случае если используется список достоверных идентификаторов, как дополнительная мера предосторожности, противнику сначала необходимо получить достоверный id карты.

Предположения в основе атаки лежат достаточно простые. Предположительно, противник имеет представление о первых 34 битах ключа. Одна из четырех команд позволяет противнику выполнить тест на первый бит $\{a_R\}$. Зависимости между сессиями, описанные в разделе 2.3.2, позволяют противнику выполнять этот тест несколько раз, кардинально сокращая количество возможных ключей. Если атакующий получил 136 команд, это позволяет ему в среднем провести 34 битовых теста, то есть столько же, сколько битов уже было угадано. Для ключей, прошедших проверку, противник запускает поиск оставшихся 14 битов ключа.

Описание атаки:

1. Противник использует эмулятор карты (например, Proxmark III) для проведения 136 попыток аутентификации со считывателем, используя фиксированный идентификатор (id). Таким образом, противник получает 136 команд вида $\{n_R\} \{a_R\}$. Далее начинает искать секретный ключ. Для этого он разбивает ключ k на три части $k=kk'k''$, где $k=k_0\dots k_{15}$, $k'=k_{16}\dots k_{33}$, $k''=k_{34}\dots k_{47}$.

2. Для каждого $k=k_0\dots k_{15}$ строит таблицу T_k , содержащую элементы вида $(y \oplus b_0\dots b_{17}, b_{32}, ky)$

3. Для всех $y \in F_{18}^2$ $P(ky0^{14}) = 1$. Ожидаемый объем таблицы $2^{18} \times \frac{1}{4} = 2^{16}$, что легко умещается в память.

4. Для всех $k'=k_{16}\dots k_{33} \in F_{18}^2$ и для каждого пути $\{n_R\} \{a_R\}$ нарушитель $z:=k' \oplus \{n_R\}_0\dots \{n_R\}_{17}$. Если на входе в T_k которого $y \oplus b_0\dots b_{17}$ высчитывает z но $b_{32} \neq \{a_R\}_0$ тогда нарушитель узнает, что k' — неверное предположение, он пробует следующее. По-другому, если $b_{32} = \{a_R\}_0$ тогда k' подходящее и тогда противник пробует следующий путь.

5. Каждый kk' , который проходит тест для всех трасс, это возможный ключ. Для каждого из таких возможных ключей противник выполняет исчерпывающий поиск оставшихся $k''=k_{34}\dots k_{47}$. Для каждого целого возможного ключа противник дешифрует две трассы и проверяет, чтобы для обеих трасс $\{a_R\}$ дешифровался в ряд единиц, как того требует аутентификационный протокол. Если ключ проходит тест — это искомым секретный ключ.

Литература:

1. Финкенцеллер, К. RFID-технологии. Справочное пособие. — М.:Додэка-XXI, 2010—496 с.: — Доп. тит. л. нем. — ISBN 978-5-94120-232-4.
2. Roel Verdult, Flavio D. Garcia, Josep Balasch, Gone in 360 Seconds: Hijacking with Hitag2. — 16с.
3. Product short data sheet: HT2x, HITAG 2 transponder IC, ноябрь 2014. — 9с. [Электронный ресурс]. — Режим доступа: http://www.nxp.com/documents/short_data_sheet/HT2X_SDS.pdf.

Если нет — противник возвращается на шаг 2 и повторяет алгоритм с другим k .

Сложность и время

На шаге 1 противнику необходимо получить 136 частичных аутентификационных трасс. Используя Proxmark III это можно сделать за минуту. На шагах 2 и 3 противнику необходимо построить 2^{16} таблиц. Для каждой их них необходимо выполнить 2^{18} просмотров и кодировок. Шаг 4 имеет мизерную сложность, поэтому мы его игнорируем. Это добавляет 2^{35} кодировок\просмотров. Поисковое пространство для k можно разделить на произвольное количество процессов. На стандартном четырехядерном ноутбуке данные вычисления займут меньше 5 минут. Таким образом, всю атаку можно выполнить меньше чем за 360 секунд.

Вывод

На предприятии осуществляется контроль физического перемещения носителя через зону прохода. Критически важным фактором является невозможность получения несанкционированной копии данного носителя. Из этого следует два основных требования к рассматриваемым RFID-носителям, исключающие доступ к содержимому памяти. Первым требованием является высокая криптостойкость алгоритмов, исключающая аналитические атаки и атаки прямого подбора ключа. Вторым требованием, как показывают проведенные выше исследования, является отсутствие уязвимостей при реализации кристалла RFID-носителя. Данные требования являются основными показателями для выбора RFID-носителя для системы, в которой осуществляется контроль физического перемещения носителя через зону прохода.

В картах первого поколения Hitag использован проприетарный алгоритм шифрования с небольшой длиной ключа, не превышающей 64 битов. Данные алгоритмы шифрования на сегодняшний день не являются криптостойкими, что подтверждается приведенными в этой работе способами атаки. Кроме того, карты имеют явные уязвимости при реализации, позволяющие взломщику выполнить эффективные атаки.

В ходе выполнения данной работы были выполнены исследования средств защиты карты Hitag. Используя доступную научно-техническую информацию, были подробно изучены протокол аутентификации, алгоритм шифрования, уязвимости при реализации карты и соответствующие способы атаки на них.

Поэтапный процесс кластерного анализа данных на основе алгоритма кластеризации k-means

Кокорева Яна Валерьевна, студент;
Макаров Александр Александрович, студент
Национальный исследовательский университет «МИЭТ» (г. Москва)

Под понятием кластеризации понимается процесс автоматического разбиения изначально заданного количества объектов на различные подгруппы, называемые кластерами, так, что два кластера не имеют между собой схожих свойств, а объекты, находящиеся в одной подгруппе, схожи.

Рассмотрим задачу кластеризации данных. Имеется выборка $x^i = \{x_1, \dots, x_i\} \subset X$ и функция, отображающая расстояние между объектами $\rho(x, x')$. Алгоритм кластеризации — это функция $a: X \rightarrow Y$, которая всем объектам $x \in X$ проставляет метку кластера $y \in Y$ [1].

Основной идеей неиерархических алгоритмов кластеризации данных является минимизация расстояний между объектами в кластерах. Это происходит до тех пор, пока минимизирование расстояния между объектами становится невозможным.

Рассмотрим один из самых популярных и широко используемых методов кластерного анализа — алгоритм k — means (k — средних). В данном методе построение оптимального разбиения объектов на кластеры, определено как требование минимизации среднеквадратического отклонения на точках каждого кластера:

$$J = \sum_{k=1}^M \sum_{i=1}^N \|x_i - c_k\|^2, \quad (1)$$

где
 $x_i \in X$ — объект кластеризации (точка);
 $c_k \in C$ — центр кластера (центроид),
 $|C| = M, |X| = N$.

На момент начала работы алгоритма должно быть известно количество кластеров C , которые именно при первой итерации работы алгоритма будут считаться центрами кластеров. В дальнейшем будет проводиться перераспределение объектов по кластерам путем нахождения расстояния от каждой точки до центра кластера по наименьшему расстоянию. Евклидово расстояние является геометрическим расстоянием в многомерном пространстве и вычисляется по формуле:

$$\rho(x, x') = \sqrt{\sum_i^n (x_i - x'_i)^2}, \quad (2)$$

где
 $\rho(x, x')$ — расстояние между объектами xx и $x'x'$;
 x_i — числовое значение i — й переменной для объекта x ;

x'_i — числовое значение i — й переменной для объекта x' ;

n — число переменных, которыми описываются объекты (или количество данных характеристик) [3].

После того как все объекты распределены по кластерам, заново считаются центры масс кластеров по формуле:

$$C_i = \frac{\sum_{j=1}^m u_{ij} \cdot x_j}{\sum_{j=1}^m u_{ij}}, \quad i = 1 \dots k, j = 1 \dots m, \quad (3)$$

где
 m — количество набора кластеров в результате кластеризации;

k — количество начального набора кластеров;

u_{ij} — коэффициент принадлежности.

Определения коэффициента принадлежности объекта к определенному кластеру, которая считается по формуле:

$$u_{ij} = \left(\frac{1}{d_{ij}} \right)^{\frac{2}{m-1}}, \quad (4)$$

где
 d — расстояние от объекта до центра кластера;
 m — коэффициент неопределенности,

Перераспределение объектов по кластерам и пересчет центра масс каждого кластера проводится до тех пор, пока кластерные центры не стабилизируются, то есть если $C_i = C_{i-1}$, либо пока не наступит момент, когда ни одна из данных точек не перейдет к соседнему кластеру на текущей итерации.

К достоинствам данного алгоритма можно отнести простоту реализации, понятность и прозрачность, а так же приемлемую сложность $O(nkl)$, где n — множество объектов, k — количество кластеров, l — число итераций алгоритма.

Недостатками алгоритма являются зависимость результата от инициализации центров кластеров и неопределенность выбора начального количества точек, играющих роль центров кластеров при первой итерации [2].

Далее вводится метрика, которая позволит оценить качество распределения элементов выборки по кластерам, полученное в результате работы алгоритма, относительно ожидаемого (иначе говоря, правильного) разбиения, задаваемого при проектировании набора данных.

Определим понятия точности и полноты полученного кластера L_i относительно ожидаемого кластера S_j :

— точность:

$$P(L_i, S_j) = \frac{n_{ij}}{n_j},$$

— полнота:

$$R(L_i, S_j) = \frac{n_{ij}}{n_i},$$

где

$n_i = |L_i|$ — число элементов в кластере L_i ;

$n_j = |S_j|$ — число элементов в кластере S_j ;

$n_{ij} = |L_i \cap S_j|$ — число общих элементов L_i и S_j .

Введем для пары L_i и S_j F — меру как среднее гармоническое точности и полноты:

$$F(L_i, S_j) = \frac{2 \cdot P(L_i, S_j) \cdot R(L_i, S_j)}{P(L_i, S_j) + R(L_i, S_j)} = \frac{2 \cdot n_{ij}}{n_i + n_j}. \quad (5)$$

Далее определим F — меру L_i относительно ожидаемого разбиения S как максимальное значение F — мер L_i относительно кластеров из разбиения S :

$$F(L_i, S) = \max_{S_j \in S} F(L_i, S_j), \quad (6)$$

F — меру всего полученного разбиения L относительно ожидаемого будем считать как взвешенную сумму F — мер для каждого из полученных кластеров:

$$F(L, S) = \sum_{i=1}^c \frac{n_i}{n} F(L_i, S), \quad (7)$$

где $c = |L|$ — количество кластеров в разбиении L ;

$n_i = |L_i|$ — число элементов в кластере L_i ;

$n = \sum_{i=1}^c n_i$ — общее число элементов в выборке.

Чем $F(L, S)$ больше, тем ближе полученное разбиение к ожидаемому разбиению. В лучшем случае, когда каждому кластеру из L отвечает ровно один из S , $F(L, S)$ обращается в единицу [4].

Наконец, определим F — меру системы T вложенных разбиений данной выборки на кластеры относительно ожидаемого распределения S как F — меру наилучшего разбиения из системы T :

Литература:

1. Кутуков, Д. С. Применение методов кластеризации для обработки новостного потока // Технические науки: проблемы и перспективы: материалы междунар. науч. конф. (г. Санкт-Петербург, март 2011 г.). — СПб.: Реноме, 2011. — с. 77–83.
2. Кондратьев, М. Е. Анализ методов кластеризации новостного потока. — Труды 8-й Всерос. науч. конф. «Электронные библиотеки: перспективные методы и технологии».
3. Баргесян, А. А., Куприянов М. С., Степаненко В. В., Холод И. И. Методы и модели анализа данных: OLAP и Data Mining. — СПб.: БХВ-Петербург, 2004. — 336 с.
4. Сокэл, Р. Р. Кластерный-анализ и классификация: предпосылки и основные направления. В кн: Классификация и кластер/Под ред. Дж. Вэн Райзина М: Мир, 1980, с. 7–19.

$$F(T, S) = \max_{L \in T} F(L, S). \quad (8)$$

Одним из подходов определения оптимального количества кластеров является анализ индексов Калинского-Харабаса (Caliński-Harabasz index). Для этого необходимо найти такое количество кластеров, которое максимизировало бы функцию, представленную в формуле:

$$CH(k) = \frac{B(k)/(k-1)}{W(k)/(n-k)}, \quad (9)$$

где

k — количество кластеров;

$W(k)$ — матрица внутренней дисперсии;

$B(k)$ — матрица внешней дисперсии.

$$B(k) = \sum_i n_i (x'_i - x')(x'_i - x')^T, \quad (10)$$

где

$i = 1, \dots, k$, n — количество объектов в изучаемых данных.

Наиболее вероятным количеством кластеров является значение k , на котором индекс CH достигает максимальное значение [4].

Алгоритм k-means является простым итеративным алгоритмом кластеризации, разделяющим множество данных на k кластеров. По своей сути, алгоритм работает с помощью перебора в два этапа: 1) кластеризация всех точек данных в зависимости от расстояния между точкой и ее ближайшим представителем кластера; 2) переоценка представителей кластера. Ограничения алгоритма k-means включает чувствительность k-means к инициализации и определению значения k .

Несмотря на все недостатки, k-means остается наиболее широко используемым разделяющим алгоритмом кластеризации на практике. Алгоритм простой, понятный и достаточно масштабируемый и может быть легко модифицирован для решения различных задач, таких как частичное обучение с учителем или потоковых данных. Постоянные улучшения и обобщения основных алгоритмов обеспечили его актуальность и постепенное увеличение эффективности.

Прозрачные проводящие покрытия на основе оксидов металлов. Технологии получения, свойства и области применения

Кондрашин Владислав Игоревич, аспирант;
Рыбакова Нелли Олеговна; магистрант;
Ракша Сергей Владимирович, аспирант;
Шамин Алексей Алексеевич, аспирант;
Николаев Кирилл Олегович, студент
Пензенский государственный университет

Прозрачные проводящие покрытия (ППП) представляют собой различные тонкопленочные материалы (полупроводниковые оксиды металлов, полимеры, углеродные структуры), которые обладают высокой электропроводностью и хорошей оптической прозрачностью. Наибольшее применение сегодня получили ППП на основе металлооксидов (MeO). Большинство из них — это бинарные соединения (In_2O_3 , ZnO , SnO_2 и CdO), содержащие один металлический элемент. В стехиометрическом составе данные соединения являются диэлектриками, однако, из-за большого количества внутренних дефектов, которые выражаются в наличии кислородных вакансий или в присутствии межузельных атомов металла, они могут становиться полупроводниками с широкой запрещенной зоной ($E_g > 3$ эВ). Энергия образования вакансий и атомов в междоузлии при этом очень низка, поэтому данные дефекты легко формируются, что объясняет относительно низкое сопротивление нестехиометрических металлооксидов [1].

Высокая проводимость ППП на их основе ($n = 10^{19} \dots 10^{21} \text{ см}^{-3}$) по-прежнему обеспечивается введением примесных атомов. Легирование позволяет увеличить концентрацию носителей заряда за счет неглубоких примесных уровней, которые образуются в зонной структуре MeO. При легировании руководствуются следующим правилом. Атом примеси должен иметь валентность выше, чем у атома металла, который образует оксидное соединение. В этом случае материал будет обладать проводимостью n -типа. В таблице 1 представлен перечень элементов, которые использовались в качестве примесей различных MeO для получения ППП на их основе [2].

Помимо высокой проводимости ППП имеют также хо-

Таблица 1. Материалы ППП

Металлооксид	Примесь
In_2O_3	Sn, Ge, Mo, F, Ti, Zr, Mo, Hf, Nb, Ta, W, Te
SnO_2	Sb, F, As, Nb, Ta
ZnO	Al, Ga, B, In, Y, Sc, F, V, S, Ge, Ti, Zr, Hf
CdO	In, Sn

рошую оптическую прозрачность (коэффициент пропускания $T > 80\%$) в видимой и ближней инфракрасной области электромагнитного спектра. Следовательно, окно пропускания ППП находится в диапазоне $\lambda = (400 \dots 1500)$

нм. Это объясняется тем, что в области длинных волн ($\lambda > 1500$ нм) свет отражается в результате появления плазменного края, когда частота света ω совпадает с частотой коллективных колебаний носителей заряда в материале (плазменная частота ω_p). В то время как светопередача в ближнем ультрафиолете ($\lambda < 350$ нм) ограничена запрещенной зоной, поскольку фотоны с энергией $\hbar\omega > E_g$ поглощаются.

Плазменная частота материала разделяет оптический диапазон на две области. В диапазоне частот $\omega < \omega_p$ наблюдается область отражения, а при $\omega > \omega_p$ материал имеет окно пропускания. Плазменная частота и концентрация носителей заряда связаны следующим соотношением:

$$\omega_p = \left(\frac{n \cdot e^2}{\epsilon_0 \cdot \epsilon_\infty \cdot m^*} \right)^{1/2} \quad (1)$$

где n — концентрация носителей заряда, e — заряд электрона, ϵ_0 — электрическая постоянная, ϵ_∞ — диэлектрическая проницаемость материала на высоких частотах и m^* — эффективная масса электрона.

Как видно из формулы (1) изменение концентрации носителей заряда в ППП будет приводить к изменению плазменной частоты. При увеличении n частота будет смещаться в сторону видимого диапазона, и окно пропускания будет существенно уменьшаться, что является нежелательным эффектом в различных областях применения ППП [3].

Однако существует определенный подход для решения задачи о сохранении высокой электрической проводимости и широкого окна пропускания. Проводимость может быть увеличена с помощью роста подвижности носителей заряда при $n = \text{const}$. В этом случае плазменная частота тоже не изменяется: $\omega_p = \text{const}$ [4]. Таким образом, оптические и электрические свойства ППП непосредственно связаны между собой.

За последнее десятилетие области применения ППП растут стремительными темпами. Сегодня они используются при производстве различных оптоэлектронных приборов и устройств (рисунок 1): органических светодиодов, жидкокристаллических дисплеев, сенсорных экранов, электрохромных панелей, элементов гибкой электроники и др. [5].

Например, оконные стекла, с нанесенными на их поверхность ППП с высокой отражающей способностью для инфракрасного излучения подобно металлическому

зеркалу, позволяют пропускать свет, но при этом удерживать тепло снаружи или внутри здания, в зависимости от климата. Эта даёт возможность минимизировать затраты на кондиционирование воздуха в летний период и расходы на отопление в зимнее время. Проводимость таких теплозащитных покрытий при этом не имеет значения.

В более сложных оконных конструкциях, которые получили название «Умные окна», ППП необходимы для того, чтобы объединить в одну электрическую цепь электрохромные панели, которые меняют окраску и прозрачность при подаче на них напряжения.

ППП, нанесённые на автомобильные и авиационные стекла, способны нагревать их до 100 С° при пропускании тока, тем самым предотвращая их обледенение и запотевание. Преимуществом по сравнению с традиционными нагревателями горячим воздухом является то, что они могут иметь гораздо более короткое эффективное время размораживания и равномерные большие рабочие зоны.

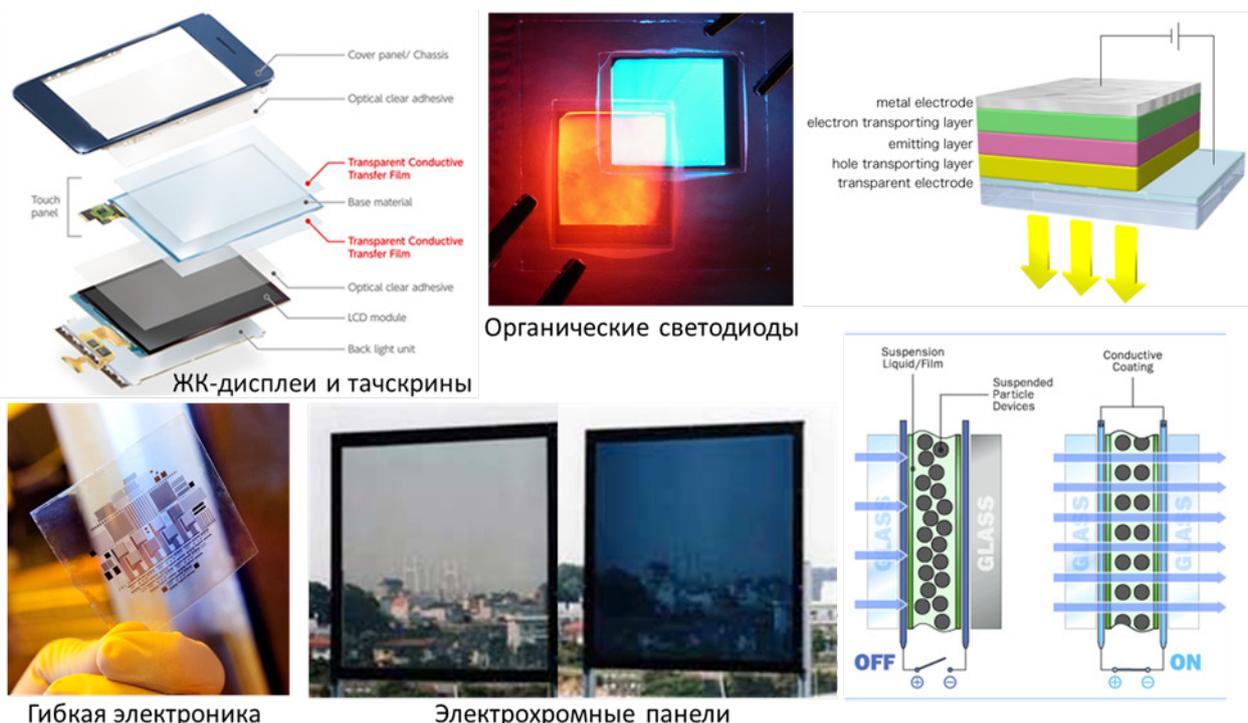
ППП могут использоваться в качестве защитного экрана для рабочих мест, особенно для чистых помещений, где проводится сборка электроники, в целях предотвращения вредного накопления электростатического заряда.

ППП также активно применяются в тонкопленочных солнечных элементах (СЭ), являющиеся в настоящее время наиболее перспективными в солнечной энергетике, поскольку они позволили существенно снизить затраты на производство. Для использования ППП в СЭ их прозрачность в видимой области спектра должна составлять более 80%, чтобы способствовать прохождению максимального количества фотонов в активную область СЭ.

Проводимость ППП должна быть большой для эффективного переноса заряда и минимизации потерь вырабатываемой энергии.

На сегодняшний день разработано несколько типов тонкопленочных СЭ (рисунок 2), находящихся как на стадии исследований и экспериментов, так и уже успешно применяемых [6]. Особое место среди них занимают сенсibilизированные красителем солнечные элементы (СКСЭ), разработанные Гретцелем и О’Реганом в 1991 году [7] и работающие по принципу фотосинтеза. Не смотря на то, что их эффективность СКСЭ меньше, чем у других тонкопленочных солнечных элементов (на сегодняшний день максимальная величина η составляет 15% [8]), они способны улавливать не только яркий свет, но и рассеянное излучение, обладают высоким соотношением цена/производительность, низкой токсичностью производства и компонентов элементов и т.д. Благодаря этим преимуществам СКСЭ по праву считаются потенциальным кандидатом на звание дешёвых и экологически чистых источников электроэнергии с широкой областью применения. На рисунке 3 изображена типичная структура СКСЭ и фотография коммерческой солнечной батареи.

На сегодняшний день наиболее часто используемым материалом ППП является оксид индия, легированный оловом (ITO). Тонкие пленки ITO обычно имеют коэффициент пропускания $T > 85\%$ и поверхностное сопротивление $R_s = (10-15) \text{ Ом/}\square$. Главным недостатком данного материала является его дороговизна из-за дефицита индия на планете, поэтому во многих областях применения ППП следует использовать другие металлооксидные соединения.



Гибкая электроника

Электрохромные панели

Рис. 1. Области применения ППП

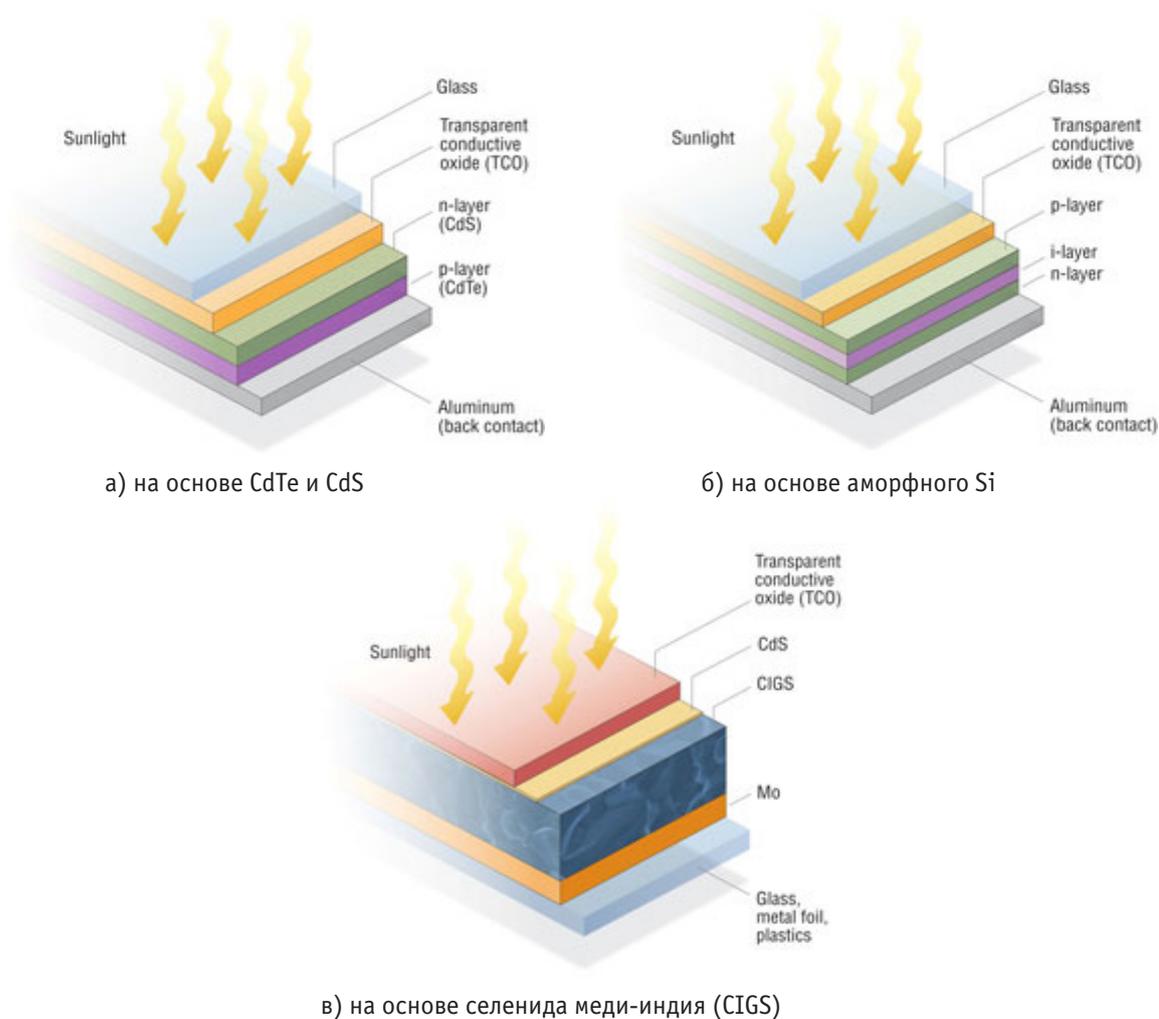


Рис. 2. Тонкопленочные солнечные элементы

Например, такие как: *ATO* — диоксид олова, легированный сурьмой; *FTO* — диоксид олова, легированный фтором; *AZO* — оксид цинка, легированный алюминием; *GZO* — оксид цинка, легированный галлием. *ATO* и *FTO*, кажется, большего всего подходят из представленных вариантов, поскольку SnO_2 достаточно устойчив к атмосферным условиям, химически инертен и может противостоять высокой температуре, однако проводимость этих материалов еще не достигла того уровня, который имеет *ITO* [1].

Оптические и электрические свойства ППП зависят от технологии получения, выбор которой, как правило, связан с учетом оптимального функционирования покрытия для конкретного использования при сведении к минимуму затрат на производство. Нанесение металлооксидных покрытий можно выполнить физическими или химическими методами, а также их комбинациями.

Традиционные методы, к которым относят термическое вакуумное осаждение, магнетронное распыление, импульсно-лазерное осаждение, химическое парофазное осаждение, осложнены использованием вакуума, дорогостоящего технологического оборудования и не просты для промышленной реализации. В связи с этим актуальной задачей сегодня является разработка простой и дешевой

технологии, которая бы обеспечивала получение ППП на основе оксидов металлов с управляемыми свойствами.

Спрей-пиролиз является наиболее подходящим под эти требования методом, поскольку обладает следующими преимуществами: простота; низкая стоимость; возможность варьирования свойств ППП путем изменения режимов их нанесения; большая поверхность зоны покрытия; потенциал для массового производства [9].

В настоящее время на кафедре «Нано- и микроэлектроника» Пензенского государственного университета ведутся работы, направленные на получение прозрачных проводящих *ATO* покрытий методом спрейд-пиролиза и исследовании их электрических и оптических свойств. Экспериментальная установка, которая была разработана для реализации данного метода, подробно представлена в работе [10].

В качестве подложек используется натриево-кальциево-силикатное стекло (оконное стекло). Нанесение чистых пленок SnO_2 осуществляется из раствора, содержащего тетрагидрид пентагидрат олова ($\text{SnCl}_4 \cdot 5\text{H}_2\text{O}$) и растворитель, в роли которого выступал этанол ($\text{C}_2\text{H}_5\text{OH}$). Распыление раствора на нагретые подложки производится с помощью сжатого воздуха, подаваемого

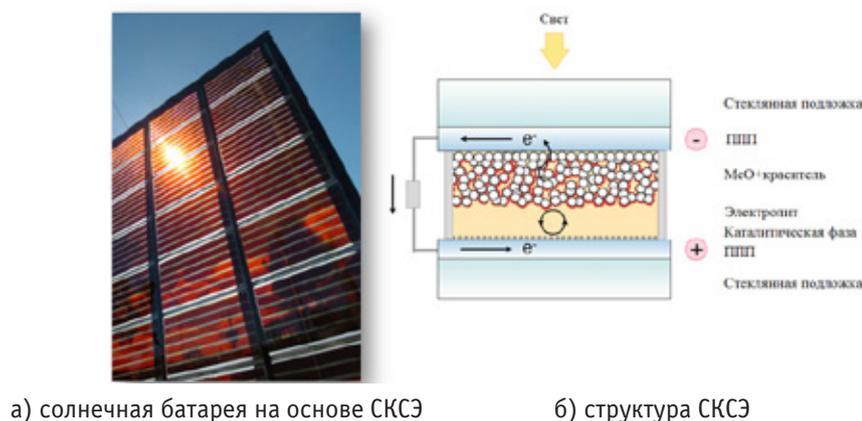
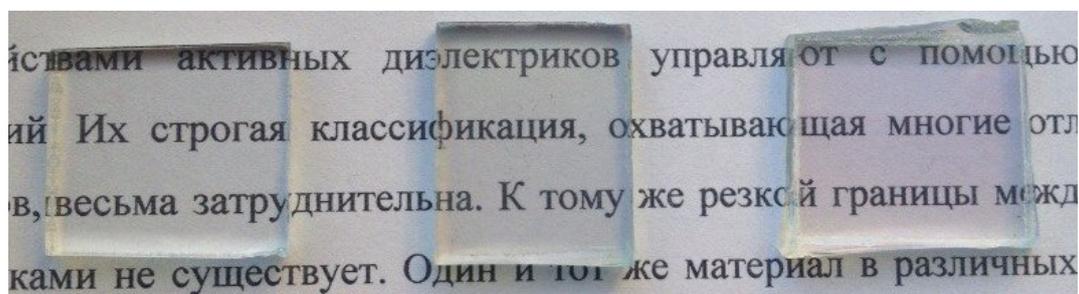


Рис. 3. Сенсibilизированные красителем солнечные элементы

при давлении равном 2 бар. Температура осаждения составляет 450 °С. Для того чтобы выполнить легирование пленок сурьмой в раствор добавляется прекурсор примеси – трихлорид сурьмы ($SbCl_3$).

На рисунке 4 представлена фотография образцов, полученных в результате проведения нескольких экспериментов. Можно заметить, что покрытия являются прозрачными, однако дать количественную оценку прозрачности можно лишь с помощью спектрофотометрии. Поэтому в дальнейшем необходимо измерить коэффициенты пропускания.

На рисунке 5 представлена фотография проведения грубой оценки значений R_s образцов с помощью мультиметра. Видно, что при введении Sb в SnO_2 , поверхностное сопротивление покрытия заметно понизилось. Легирование увеличивает концентрацию носителей заряда, так как атомы сурьмы выступают здесь в качестве доноров электронов. Для дальнейшего повышения проводимости требуется также провести ряд опытов, направленных на получение образцов с более высоким уровнем легирования и на измерение поверхностного сопротивления с использованием четырехзондового метода.



а) чистое стекло б) образец с покрытием АТО в) образец с покрытием SnO_2

Рис. 4. Фотография образцов



а) образец с покрытием SnO_2 б) образец с покрытием АТО

Рис. 5. Грубая оценка значений поверхностного сопротивления образцов

Литература:

1. Batzill, M., Diebold U. The surface and materials science of tin oxide // Progress in Surface Science. — 2005. — Vol. 79. — P. 47–154.
2. Stadler, A. Transparent Conducting Oxides — An Up-To-Date Overview // Materials. — 2012. — N 5. — P. 661–683.
3. Ginley, D. S. Handbook of transparent conductors // Springer. — 2010. — 547 p.
4. Solieman, A., Aegerter M. A. Modeling of optical and electrical properties of In₂O₃: Sn coatings made by various techniques // Thin Solid Films. — 2006. — Vol. 502. — P. 205–211.
5. Liu, H., Avrutin V., Izyumskaya N., Özgür Ü. Transparent conducting oxides for electrode applications in light emitting and absorbing devices // Superlattices Microstruct. — 2010. — Vol. 48. — N 5. — P. 458–484.
6. Klein, A., Korber C., Wachau A., Sauberlich F., Gassenbauer Y., Harvey S. P., Proffit D. E. Transparent Conducting Oxides for Photovoltaic's: Manipulation of Fermi Level, Work Function and Energy Band Alignment // Materials. — 2010. — N 3. — P. 4892–4914.
7. O'Regan, B., Grätzel M. A low-cost, high-efficiency solar cell based on dye-sensitized colloidal TiO₂ films // Nature. — 1991. — Vol. 353. — P. 737–740.
8. Burschka, J., Pellet N., Moon S. J., Humphry-Baker R., Gao P., Nazeeruddin M. K., Grätzel M. Sequential deposition as a route to high-performance perovskite-sensitized solar cells // Nature. — 2013. — Vol. 499. — P. 316–319.
9. Печерская, Р. М., Печерская Е. А., Соловьев В. А., Метальников А. М., Кондрашин В. И. Синтез и свойства нанокристаллических пленок диоксида олова, полученных методом пиролиза аэрозолей // Известия высших учебных заведений. Поволжский регион. Физико-математические науки. — Пенза: Изд-во ПГУ, 2012. — № 4. — с. 237–241.
10. Кондрашин, В. И., Ракша С. В., Шикин М. Ю. Разработка лабораторного оборудования для получения и исследования материалов микро- и наноэлектроники // Молодой ученый. — 2014. — № 6. — с. 169–173.

Исследование кинетики водопоглощения мелкозернистого бетона

Коровкин Марк Олимпиевич, кандидат технических наук, доцент;
Ерошкина Надежда Александровна, кандидат технических наук, инженер-исследователь;
Теплова Марина Фаридовна, магистрант;
Коровченко Игорь Валерьевич, магистрант
Пензенский государственный университет архитектуры и строительства

Исследована кинетика водопоглощения мелкозернистого бетона методом непрерывного гидростатического взвешивания. Установлено, что этот процесс не может быть описан одним уравнением. Предложенное усовершенствование методики позволяет более точно описать кинетику водопоглощения бетона.

Ключевые слова: бетон, кинетика водопоглощения, пористость, морозостойкость, прогнозирование.

Долговечность, в частности морозостойкость, цементного бетона во многом зависит от его поровой структуры. Кинетика водопоглощения бетона в реальных условиях переменного насыщения материала водой определяет степень заполнения пор жидкой фазой до начала замораживания и, наряду со скоростью замораживания, определяет интенсивность деструктивных процессов. Однако, несмотря на очевидную взаимосвязь между параметрами, описывающими кинетику водопоглощения и морозостойкостью, а также предпринимавшиеся попытки установить регрессионную зависимость между этими характеристиками [2], в настоящее время отсутствуют методы достоверного прогнозирования морозостойкости бетона по характеристикам его пористости, установленным

по кинетике водопоглощения. Это можно объяснить недостатками методики определения показателей пористости по кинетике его поглощения.

Для определения кинетики водопоглощения используется методика ГОСТ [1], в соответствии с которой насыщение бетона водой описывается уравнением

$$W_t = W_m(1 - e^{-(\lambda t)^\alpha}), \quad (1)$$

где W_t — водопоглощение образца за время t , % по массе;

W_m — водопоглощение образца, определенное по ГОСТ 12730.3, % по массе;

e — основание натурального логарифма, равное 2,718;

t — время водопоглощения, ч;

$\bar{\lambda}$ — показатель среднего размера открытых капиллярных пор, равный пределу отношений ускорения процесса водопоглощения к его скорости;

α — показатель однородности размеров открытых капиллярных пор.

Параметры пористости $\bar{\lambda}$ и α устанавливаются по номограммам, приведенным в ГОСТ [1]. Для их нахождения необходимо определить 3 значения водопоглощения в различные моменты времени. При использовании дискретного метода взвешивания определяют водопоглощение через 15 и 60 минут, а также после полного насыщения образцов водой. А при использовании метода непрерывного гидростатического взвешивания вместо водопоглощения через 15 и 60 минут определяют время достижения значений водопоглощений $W_{t1} = 0,632 \cdot W_m$ и $W_{t2} = 0,5 \cdot W_m$.

Недостатком этого метода является использование минимального объема данных о кинетике процесса, что свидетельствует о выборе упрощенной модели, описывающей водопоглощение. На практике кинетика водопоглощения зависит от процесса заполнения пор материала различного генезиса. Различают, по крайней мере, два вида пор — сообщающиеся капиллярные, образовавшиеся в результате испарения избыточной влаги с точки зрения полной гидратации цемента, и условно замкнутые, образовавшиеся за счет вовлечения в смесь воздуха при ее приготовлении. В связи с этим, для более достоверного описания кинетики водопоглощения необходимо увеличить объем данных.

На основе цифровых электронных весов, имеющих возможность передачи данных через интерфейс в компьютер, может быть собрана измерительная установка (рис. 1), позволяющая получить достаточное количество данных о кинетике водопоглощения. При отсутствии

в весах возможности сопряжения с компьютером данные могут фиксироваться с помощью видеосъемки.

Исследование кинетики водопоглощения мелкозернистого бетона (цементно-песчаного раствора) состава 1:3 при В/Ц=0,5 показало (рис. 2), что этот процесс только на начальном этапе может быть описан уравнением (1), коэффициенты которого получены по методике [1], а в более поздние сроки наблюдаются значительные отклонения фактических значений водопоглощения от расчетных.

Для нахождения уравнений, более точно описывающих кинетику процесса можно использовать линеаризацию данных за счет следующих преобразований:

$y = \ln(-\ln(1 - Wt/Wm))$ и $x = \ln(t)$ (обозначения см. спецификацию формулы (1)). На графике, построенном по линеаризованным данным, экспериментальные значения могут быть описаны двумя линейными уравнениями, приведенными на рис. 3. После нахождения методом наименьших квадратов коэффициентов уравнения $y = a + b \cdot x$ можно вычислить характеристики пористости α и λ , которые находятся исходя из зависимостей $\lambda = b$ и $\alpha = \exp(a/b)$. Для данных на графике получим:

- для первой части кривой $\lambda_1 = 0,245$ и $\alpha_1 = 0,673$;
- для второй части кривой $\lambda_2 = 6,67$ и $\alpha_2 = 0,054$.

Изменение кинетики водопоглощения, которое наблюдается через 5,5 часа (рис. 2 и 3) отражается на смене коэффициентов уравнений и свидетельствует о качественном изменении процесса. На начальном этапе происходит насыщение сообщающихся мелких капиллярных пор, что подтверждается более низким показателем среднего размера открытых капиллярных пор ($\lambda_1 = 0,245$). На втором этапе этот показатель многократно возрастает ($\lambda_2 = 6,67$), что свидетельствует о том, что основной вклад

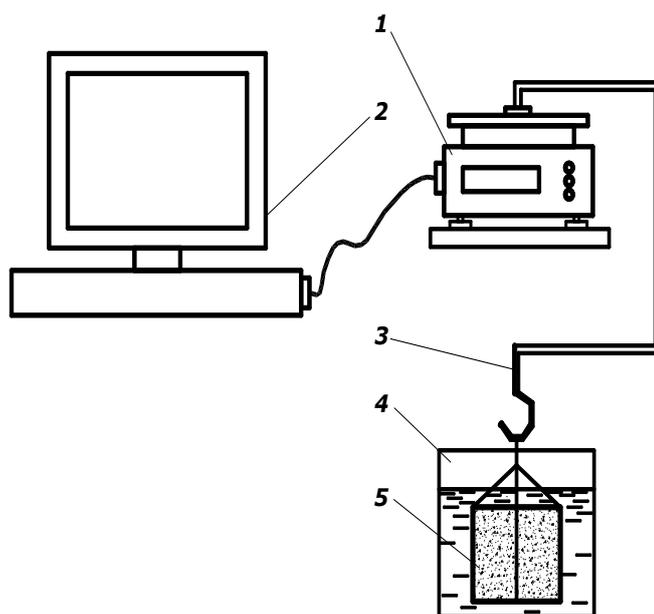


Рис. 1. Измерительная установка для непрерывного измерения и записи веса образца в процессе насыщения его водой. Обозначения: 1 — весы электронные; 2 — компьютер; 3 — подвес; 4 — емкость с водой; 5 — образец

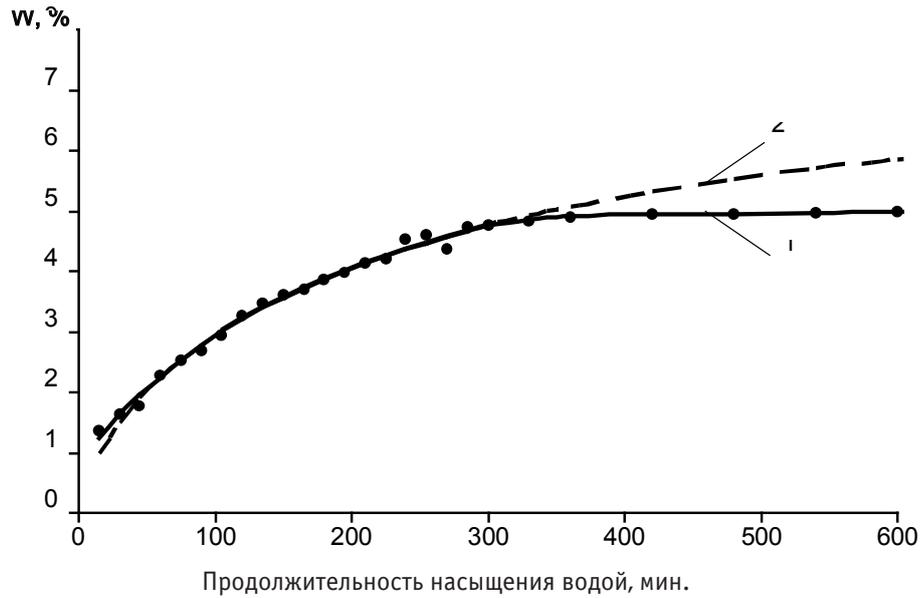


Рис. 2. Кинетика водопоглощения мелкозернистого бетона (1) и расчетная кривая процесса (2)

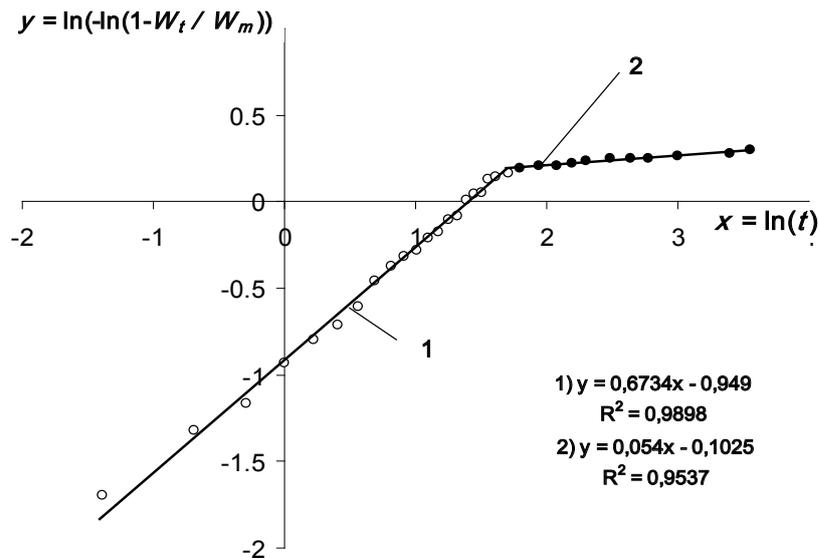


Рис. 3. График кинетики водопоглощения после линеаризации

в приращение водопоглощения вносят медленно заполняющиеся условно-замкнутые сферические поры, образовавшиеся за счет вовлечения воздуха при перемешивании бетонной смеси.

Выявленное несоответствие фактического водопоглощения принятым представлениям [1] может объяснить

невозможность выявления аналитических зависимостей, позволяющих прогнозировать морозостойкость бетона по показателям кинетики его водопоглощения. Для решения этой задачи необходимо проведение совместных исследований морозостойкости и водопоглощения с учетом выявленных особенностей последнего.

Литература:

- ГОСТ 12730.4–78. Бетоны. Методы определения показателей пористости.
- Методические рекомендации по контролю качества поровой структуры дорожного бетона. М.: Минтрансстрой, 1978. 14 с.

Проектирование детектора сигналов средств беспроводного доступа

Липский Максим Юрьевич, студент

Национальный исследовательский университет «Московский институт электронной техники»

Введение

В современном мире ни у кого не возникает сомнений в том, что необходимо защищать информацию. Злоумышленники стараются перехватить сведения, составляющие коммерческую тайну предприятия, чтобы перенять какие-то ноу-хау или воспользоваться клиентской базой фирмы-конкурента, сведения, составляющие государственную тайну, распространение которых может нанести ущерб безопасности государства, но принести прибыль преступнику, персональные данные, которые можно использовать против какого-то человека. Информация, которую могут перехватить, может быть представлена в любом виде, в том числе и в акустическом (например, при переговорах на конфиденциальные темы).

Существует множество способов перехвата информации, включая те, где не требуется использование специальной техники (непреднамеренное прослушивание), и те, где применяются дорогие лазерные системы акустической разведки или технические средства разведки побочных электромагнитных излучений. Одним из оптимальных и относительно недорогих методов перехвата информации является внедрение в помещения и на объекты информатизации закладных устройств — технических средств, скрытно устанавливаемых на объекте с целью несанкционированного получения информации [1].

Для того чтобы обезопасить себя от утечки информации из-за внедренных закладных устройств, использующих для передачи перехваченной информации радиоканал, используются детекторы (индикаторы) поля. Если источниками радиоизлучений являются средства беспроводного доступа, то средство поиска и выявления таких закладных устройств называется детектором сигналов средств беспроводного доступа.

Актуальность рассматриваемой темы не вызывает сомнения. На современном рынке представлено множество различных видов детекторов поля от различных фирм-производителей. Однако многие люди, использующие детекторы сигналов средств беспроводного доступа при поисковых мероприятиях, не знают, по какому принципу работают эти устройства. Понимание физических основ, на которых базируется действие детекторов, позволит гораздо эффективнее применять эти устройства на практике. С этой целью в среде моделирования National Instruments Multisim 11.0 была разработана схема модели детектора, которая может быть использована для изучения принципов работы устройства.

Назначение детекторов сигналов средств беспроводного доступа

Для передачи перехваченной информации закладные устройства могут использовать как различные проводные линии (передача информации по сети электропитания, по телефонной линии, по специально проложенной проводной линии), так и передачу по радиоканалам [1]. Наиболее оптимальным и часто используемым способом передачи перехваченной информации закладными устройствами является именно передача по радиоканалу из-за отсутствия явных демаскирующих признаков, которые можно обнаружить визуально. Таким образом, такие закладные устройства можно считать средствами беспроводного доступа.

Закладные устройства могут передавать информацию как по известным и широко используемым стандартам сотовой связи и беспроводного доступа (таким как DECT, GSM, Wi-Fi), так и по собственным технологиям изготовителя конкретного закладного устройства. В статье рассматриваются только средства беспроводного доступа, поэтому будем считать, что закладные устройства работают в диапазоне частот от 450 МГц до 2500 МГц.

К средствам поиска средств беспроводного доступа относятся сканерные приемники, интерсепторы, радиочастотомеры, анализаторы спектра, программно-аппаратные и специальные комплексы радиоконтроля, нелинейные локаторы [1]. Также одними из важнейших приборов при проведении поисковых мероприятий являются детекторы (индикаторы) электромагнитного поля.

Индикаторы электромагнитного поля служат для выявления закладных устройств, использующих для передачи информации радиоканал [2], то есть, говоря иными словами, они обнаруживают средства беспроводного доступа. Поэтому можно сказать, что в таком случае индикаторы поля являются детекторами сигналов средств беспроводного доступа.

Свое основное применение детекторы сигналов средств беспроводного доступа нашли в разнообразных проверках помещений с целью выявления закладных устройств. Особенно успешно детекторы используются для проведения внеплановых поисковых мероприятий, когда время проверки ограничено [3].

Принципы построения и функционирования детекторов сигналов средств беспроводного доступа

Типовой детектор сигналов средств беспроводного доступа состоит из слабонаправленной антенны линейной поляризации, полосового фильтра или фильтра высоких

частот, широкополосного усилителя высокой частоты, амплитудного детектора, порогового устройства и индикатора уровня сигнала [4].

Фильтры служат для сужения частотного диапазона, в котором ведется поиск предполагаемых закладных устройств, что способствует уменьшению мощности помех на входе детектора сигналов средств беспроводного доступа [3].

Пороговое устройство детектора сигналов средств беспроводного доступа сравнивает уровень сигнала закладного устройства на выходе детектора с пороговым и срабатывает при его превышении. Поэтому необходимо со всей ответственностью подойти к выбору порогового значения, так как зачастую именно от этого зависит эффективность проводимых поисковых мероприятий.

В индикаторах поля порог может устанавливаться вручную или автоматически. Необходимо установить порог таким образом, чтобы прибор не реагировал на естественные фоновые излучения, возникающие из-за работы различных электронных устройств, установленных в помещении или около него. Однако значение порогового уровня не должно сильно превышать фоновый уровень, тогда индикатор поля будет обладать максимальной обнаружительной способностью [3].

Среди индикаторов уровня сигнала наиболее популярными среди современных моделей детекторов поля являются световые и жидкокристаллические индикаторы.

Световые индикаторы обычно представляют собой линейку из нескольких светодиодов (4–12 штук). При повышении уровня входного сигнала на известную величину загорается следующий светодиод в соответствии с логарифмической или линейной шкалой. Также может меняться яркость свечения светодиодов при изменении уровня сигнала. Жидкокристаллический индикатор отображает относительный уровень сигнала либо на сегментной линейке, либо в цифровом виде [2].

Некоторые детекторы поля могут содержать специальный блок с амплитудным детектором, усилителем низкой частоты и громкоговорителем (динамиком), то есть существует возможность прослушивать детектированный сигнал [5]. Однако из-за того, что сигнал зашифровывается в средствах беспроводного доступа по соответствующим стандартам алгоритмам, в рассматриваемом случае прослушать речевую информацию нельзя. Таким образом, динамик, встроенный в детектор сигналов средств беспроводного доступа, необходим не для воспроизведения перехваченной речевой информации, а для осуществления одного из методов поиска закладных устройств — метода «акустической завязки». Эффект «акустической завязки» основывается на наличии паразитной амплитудной модуляции сигнала закладного устройства, а суть ее состоит в следующем: излучение, модулированное информационным акустическим сигналом, принимается антенной детектора сигналов средств беспроводного доступа, после чего детектируется, усиливается и поступает на вход громкоговорителя. Тогда между динамиком и микрофоном за-

кладного устройства образуется положительная обратная акустическая связь. Если приблизить детектор поля достаточно близко к излучающему средству беспроводного доступа, то низкочастотный усилитель детектора самовозбуждается и в динамике появляется характерный свист. По наличию этого специфического звука оператор делает вывод, что закладное устройство находится рядом с индикатором поля [4].

Принцип действия детектора сигналов средств беспроводного доступа основывается на интегральном методе измерения уровня электромагнитного поля в точке их расположения, и на этой основе — в определении точки абсолютного максимума уровня излучения в помещении [2].

Рассмотрим принцип функционирования типового детектора поля. Наведенный в антенне сигнал поступает на широкополосный усилитель через фильтр высокой частоты. Затем сигнал поступает на амплитудный детектор, в простейшем случае представляющий собой выпрямитель на диодах. При этом фильтруются высокочастотные составляющие сигнала, а низкочастотные поступают на усилитель постоянного тока. Коэффициент усиления в большинстве известных индикаторов поля регулируется с помощью переменного резистора в цепи отрицательной обратной связи. С выхода усилителя сигнал поступает на устройство, отвечающее за индикацию уровня сигнала, и на звуковой генератор. Таким образом, прибор регистрирует интегральный уровень электромагнитных излучений в месте приема. В случае превышения текущего уровня напряженности сигнала заранее установленного с помощью регулятора чувствительности порогового значения, срабатывает световая или звуковая сигнализация. Тональность звукового сигнала повышается при увеличении уровня входного сигнала. Также многие детекторы сигналов средств беспроводного доступа позволяют осуществлять возможность наблюдения относительного уровня входного сигнала на стрелочном, жидкокристаллическом или световом индикаторе [2].

Структурная схема разработанного детектора сигналов средств беспроводного доступа

Для непосредственно проектирования детектора сигналов средств беспроводного доступа необходимо выделить основные структурные блоки, из которых будет состоять устройство, то есть разработать его структурную схему.

Так как устройство проектируется в среде Multisim, сразу необходимо оговориться о некоторых ограничениях, возникающих в связи с этим. В данной среде моделирования не существует никаких антенн, поэтому ее следует заменить генератором амплитудно-модулированного синусоидального напряжения. Также в открытой базе электрических элементов отсутствуют отечественные элементы, поэтому при проектировании они были заменены на зарубежные аналоги, представленные в среде Multisim.



Рис. 1. Структурная схема модели детектора сигналов средств беспроводного доступа

Так как проектирование устройства происходит в среде моделирования, то операционные усилители, используемые в схеме, были заменены виртуальными.

Итак, основываясь на теоретических данных о принципах построения детектора сигналов средств беспроводного доступа, в состав устройства предлагается включить следующие основные структурные блоки:

- антенна (генератор сигналов);
- фильтр высоких частот;
- усилитель высоких частот;
- амплитудный детектор;
- усилитель постоянного тока;
- пороговое устройство;
- устройство индикации.

Структурная схема устройства изображена на рисунке 1.

В детекторах сигналов средств беспроводного доступа обычно используются фильтры верхних частот. Они необходимы для подавления частот сигнала ниже определенной частоты — частоты среза. Благодаря таким фильтрам, во-первых, уменьшается уровень низкочастотных сигналов, которые, как правило, составляют фоновое радиоизлучение, в том числе, от бытовой техники. Во-вторых, не пропускаются на детектор сигналы с частотами, которые ниже частот, на которых осуществляют передачу радиосигнала средства беспроводного доступа. Таким образом, детектор поля не выполняет ненужную работу не в своем частотном диапазоне. Разработанный фильтр высоких частот будет подавлять сигналы частот до 450 МГц.

В случае если чувствительность детектора сигналов средств беспроводного доступа не будет удовлетворять заданным требованиям, то за антенной и фильтром высоких частот можно подключить широкополосный высокочастотный усилитель. Усилитель высокой частоты служит для усиления колебаний высокой частоты, которые были получены в антенне под действием радиоволн, и, как следствие, для повышения избирательности устройства. В качестве усилительных элементов очень часто используются различные транзисторы. Отрицательные обратные связи обеспечивают более стабильную работу усилителя высоких частот, а также уменьшают частотные и нелинейные искажения радиосигнала.

Амплитудный детектор, или демодулятор, предназначен для отделения полезного сигнала от несущей составляющей: из суммы гармонических колебаний высоких (несущей и боковых) частот получаются низкочастотные составляющие модулирующего сигнала, соответствующие огибающей принимаемого сигнала.

Усилители постоянного тока являются видом электронных усилителей, у которых в диапазон рабочих частот входит нулевая частота, то есть, постоянный ток. Обычно усилители постоянного тока основываются на операционных усилителях [6]. Сам операционный усилитель — это тот же усилитель постоянного тока, однако со значительно большим коэффициентом усиления постоянного напряжения и с большим входным сопротивлением.

Пороговое устройство детектора сигналов средств беспроводного доступа сравнивает уровень сигнала закладного устройства на выходе детектора с пороговым и срабатывает при его превышении. В качестве порогового устройства в разработанном устройстве применяются компараторы — электронные устройства, основным назначением которых является сравнение нескольких (двух или более) электрических величин [6].

В качестве порогового устройства компаратор может применяться таким образом: если входной контролируемый сигнал, проходящий на один из входов компаратора, по своей величине будет превышать опорный (заданный) сигнал, подающийся на другой вход устройства, то компаратор сработает, и загорятся светодиоды.

Принципиальная электрическая схема разработанного детектора сигналов средств беспроводного доступа

На основе полученной ранее структурной схемы детектора сигналов средств беспроводного доступа была спроектирована принципиальная электрическая схема устройства, представленная на рисунке 2.

Под цифрой 1 на рисунке изображен генератор амплитудно-модулированного синусоидального напряжения. С него через фильтр высокой частоты (цифра 2) сигналы поступают на вход усилителя высокой частоты [7], изображенного под цифрой 3. С нагрузки усилителя вы-

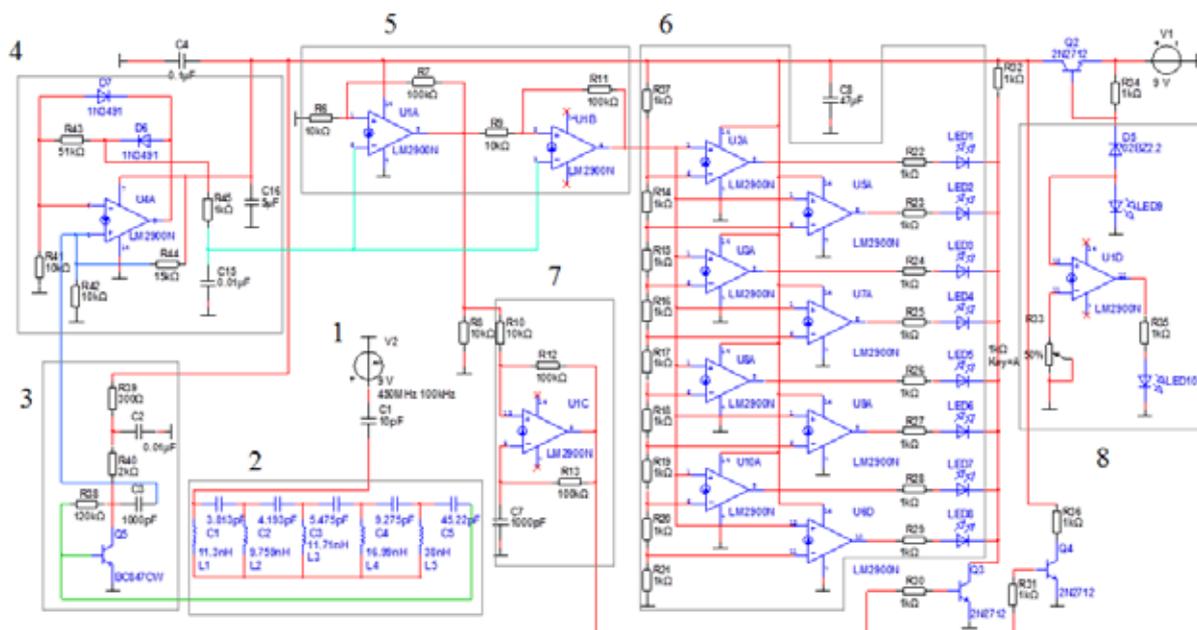


Рис. 2. Принципиальная электрическая схема детектора сигналов средств беспроводного доступа

соких частот высокочастотное напряжение через конденсатор С3 поступает на амплитудный детектор, показанный на рисунке под цифрой 4. Амплитудный детектор основан на двух диодах и операционном усилителе [8].

После детектирования на выходе амплитудного демодулятора остались только низкочастотные составляющие сигнала. Они поступают на усилитель постоянного тока, изображенного под цифрой 5. Действия усилителя постоянного тока основаны на работе двух операционных усилителей U1A и U1B [9]. С выхода первого операционного усилителя постоянное напряжение поступает на генератор звуковой частоты [9], показанного под цифрой 7, а также идет на вход второго операционного усилителя U1B.

С выхода усилителя постоянного тока поступает постоянное напряжение на входы компараторов порогового устройства. Компараторы сравнивают напряжение с выхода усилителя постоянного тока, поступившее на неинвертирующий вход операционного усилителя, с опорным напряжением, пришедшим на инвертирующий вход. Если значение первого напряжения меньше значения опорного напряжения, то порог не превышен и светодиоды

не загораются. В другом случае компаратор срабатывает и светодиоды загораются. Под цифрой 6 на рисунке изображены пороговое устройство и устройство индикации, представляющее собой линейную светоизлучающую шкалу из 8 светодиодов [9]. Чем выше уровень сигнала на входе детектора сигналов средств беспроводного доступа, тем больше светодиодов включено.

К дополнительным функциям устройства можно отнести реализацию индикатора разряда батареи, изображенного на рисунке под цифрой 8 [9]. При уменьшении напряжения источника питания включается светодиод LED10, который сигнализирует о том, что батарея разряжена.

Заключение

В результате была разработана принципиальная электрическая схема детектора сигналов средств беспроводного доступа в среде моделирования National Instruments Multisim 11.0, представленная на рисунке 2. Эта модель устройства может послужить для изучения основных принципов работы устройства.

Литература:

1. Хорев, А. А. Классификация методов и средств поиска электронных устройств перехвата информации // Спецтехника и связь. — 2007. — № 6. — с. 52–60.
2. Хорев, А. А. Поиск электронных устройств перехвата информации с использованием индикаторов электромагнитного поля. [Электронный ресурс]. — Режим доступа: <http://www.bnti.ru/showart.asp?aid=960&lvl=04.01.01>.
3. Лобашев, А. К., Лосев Л. С. Современное состояние и тактические возможности применения индикаторов электромагнитных излучений // Специальная техника. — 2004. — № 6. — с. 36–45.
4. Бузов, Г. А., Калинин С. В., Кондратьев А. В. Защита от утечки информации по техническим каналам: Учебное пособие. — М.: Горячая линия — Телеком, 2005. — 416 с.: ил.

5. Хорев, А. А. Методы и средства поиска электронных устройств перехвата информации. — М.: МО РФ, 1998. — 224 с.
6. Шустов, М. А. Схемотехника. 500 устройств на аналоговых микросхемах. — СПб: Наука и техника, 2013. — 352 с.
7. Корякин-Черняк, С. Л. Как собрать шпионские штучки своими руками. СПб.: Наука и техника, 2010. — 223 с.
8. Детекторы сигналов с амплитудной модуляцией. [Электронный ресурс]. — Режим доступа: <http://www.club155.ru/detectors-am>
9. Андрианов, В. И., Бородин В. А., Соколов А. В. «Шпионские штучки» и устройства для защиты объектов и информации. Справочное пособие. — СПб.: Лань, 1996. — 272 с.

Влияние применения природного газа на показатели процесса сгорания и содержание оксидов азота в цилиндре дизеля с турбонаддувом

Лопатин Олег Петрович, кандидат технических наук, доцент
Вятская государственная сельскохозяйственная академия (г. Киров)

Показатели процесса сгорания, объемное содержание и массовая концентрация оксидов азота в цилиндре дизеля с турбонаддувом 4ЧН 11,0/12,5 в зависимости от изменения установочного угла опережения впрыскивания топлива (УОВТ) для номинальной частоты вращения 2400 мин^{-1} (номинальный режим) представлены на рис. 1, а [1–5].

Из графиков видно, что с увеличением УОВТ при работе по дизельному и газодизельному процессам возрастает

объемное содержание и массовая концентрация оксидов азота, а также максимальные давление газов и температура в цилиндре двигателя [6–9].

При всех значениях установочных УОВТ при переходе на газодизельный процесс происходит снижение объемного содержания и массовой концентрации оксидов азота, увеличение максимальных давления газов и температуры в цилиндре двигателя [10–14].

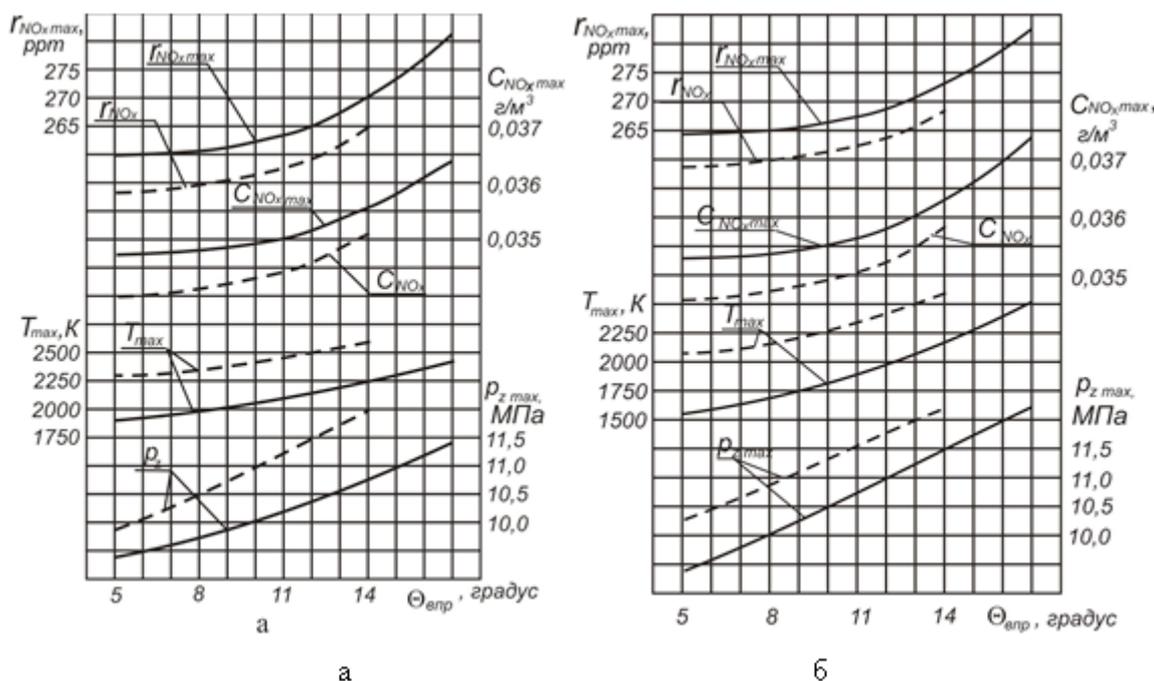


Рис. 1. Влияние применения природного газа на объемное содержание и массовую концентрацию оксидов азота и показатели процесса сгорания дизеля с турбонаддувом 4ЧН 11,0/12,5 в зависимости от изменения установочного УОВТ: а — $n = 2400 \text{ мин}^{-1}$; б — $n = 1900 \text{ мин}^{-1}$; \square — дизельный процесс; \circ — газодизельный процесс

Так, при работе по газодизельному процессу при $\Theta_{\text{впр}} = 5^\circ$ значения объемного содержания и массовой концентрации составляют 253 ppm и 0,0340 г/м³, соответственно, что ниже на 3% дизельного процесса. При работе по газодизельному процессу при угле опережения впрыскивания топлива $\Theta_{\text{впр}} = 14^\circ$ значения объемного содержания и массовой концентрации составляют 265 ppm и 0,0350 г/м³, соответственно, что ниже на 2% дизельного процесса [15–19].

На рис. 1, б представлено объемное содержание, массовая концентрация оксидов азота и показатели процесса сгорания дизеля с турбонаддувом 4ЧН 11,0/12,5 в зависимости от изменения установочного УОВТ при $n = 1900$ мин⁻¹ (максимальный крутящий момент). Из графиков видно, что с увеличением установочного УОВТ при работе по дизельному и газодизельному процессам также возрастают объемное содержание и массовая концентрация оксидов азота, максимальные давление газов и температура в цилиндре двигателя [20–25].

При всех значениях углов опережения впрыскивания топлива при переходе на газодизельный процесс также

происходит снижение объемного содержания и массовой концентрации оксидов азота, увеличение максимальных давления газов и температуры в цилиндре двигателя. Так, при работе по газодизельному процессу при угле опережения впрыскивания топлива $\Theta_{\text{впр}} = 5^\circ$ значения объемного содержания и массовой концентрации составляют 258 ppm и 0,0346 г/м³, соответственно, что ниже на 3% дизельного процесса. При работе по газодизельному процессу при угле опережения впрыскивания топлива $\Theta_{\text{впр}} = 11^\circ$ значения объемного содержания и массовой концентрации составляют 262 ppm и 0,0350 г/м³, соответственно, что ниже на 2% дизельного процесса. Это связано с неравномерным распределением температуры в зоне горения, что значительно влияет на выход NO [26–28].

Таким образом, по показателям объемного содержания и массовой концентрации оксидов азота и показателям процесса сгорания необходимо для газодизеля принять оптимальный установочный УОВТ — 11° до верхней мертвой точки.

Литература:

1. Анфилатов, А. А. Снижение содержания оксидов азота в отработавших газах дизеля 2Ч 10,5/12,0 путём применения метанола с двойной системы топливоподачи. Диссертация на соискание ученой степени кандидата технических наук/Киров, 2009. — 184 с.
2. Анфилатов, А. А., Лиханов В. А., Лопатин О. П. Исследование процессов образования и разложения оксидов азота в цилиндре дизеля 2Ч 10,5/12,0 путем применения метанола с двойной системой топливоподачи: Монография. — Киров, 2008. — 156 с.
3. Лиханов, В. А., Анфилатов А. А. Изменение образования оксидов азота в цилиндре дизеля при работе на метаноле // Тракторы и сельхозмашины. 2015. № 4. с. 3–5.
4. Лиханов, В. А., Лопатин О. П., Анфилатов А. А. Снижение содержания оксидов азота в отработавших газах дизеля путём применения метанола с использованием двойной системы топливоподачи // Тракторы и сельхозмашины. 2012. № 5. с. 5–8.
5. Анфилатов, А. А. Снижение содержания оксидов азота в отработавших газах дизеля 2Ч 10,5/12,0 путём применения метанола с двойной системы топливоподачи. Автореферат диссертации на соискание ученой степени кандидата технических наук/Санкт-Петербургский государственный аграрный университет. Санкт-Петербург, 2009. — 18 с.
6. Лиханов, В. А., Чувашев А. Н., Глухов А. А., Анфилатов А. А. Улучшение экологических показателей дизеля 2Ч 10,5/12,0 при работе на метаноле // Тракторы и сельхозмашины. 2007. № 3. с. 4–5.
7. Лиханов, В. А., Чувашев А. Н., Глухов А. А., Анфилатов А. А. Улучшение эффективных и экологических показателей дизеля при работе на метаноле // Тракторы и сельхозмашины. 2007. № 4. с. 10–13.
8. Анфилатов, А. А. Влияние метанола на оксиды азота при сгорании в цилиндре дизеля // Молодой ученый. 2015. № 9 (89). с. 151–154.
9. Анфилатов, А. А. Химизм процесса образования оксидов азота в цилиндре дизеля при работе на метаноле // Молодой ученый. 2015. № 10 (90). с. 139–142.
10. Анфилатов, А. А. Теоретические расчеты объемного содержания оксидов азота в цилиндре дизеля при работе на метаноле для номинальной частоты вращения // Молодой ученый. 2015. № 10 (90). с. 142–145.
11. Лиханов, В. А., Анфилатов А. А. Исследование применения метанола в дизеле на оптимальных установочных углах // Современная наука: актуальные проблемы и пути их решения. 2015. № 4 (17). с. 42–44.
12. Анфилатов, А. А. Химизм процесса образования оксидов азота в цилиндре дизеля с воздушным охлаждением // Современная наука: актуальные проблемы и пути их решения. 2015. № 4 (17). с. 45–47.
13. Анфилатов, А. А. Исследование токсичности на скоростном режиме дизеля при работе на метаноле // Современная наука: актуальные проблемы и пути их решения. 2015. № 4 (17). с. 47–50.

14. Анфилатов, А.А. Исследование дымности в отработавших газах дизеля при работе на метаноле // Современная наука: актуальные проблемы и пути их решения. 2015. № 4 (17). с. 50–53.
15. Скрябин, М.Л. Исследование эффективных показателей газодизеля с промежуточным охлаждением наддувочного воздуха // Молодой ученый. 2015. № 10 (90). с. 312–315.
16. Скрябин, М.Л. Улучшение экологических показателей дизеля путем применения природного газа и промежуточного охлаждения наддувочного воздуха // Молодой ученый. 2015. № 10 (90). с. 315–318.
17. Скрябин, М.Л. Влияние применения природного газа на содержание токсичных компонентов в отработавших газах дизеля 4ЧН 11,0/12,5 с ПОНВ при работе на номинальной частоте вращения в зависимости от установочного угла опережения впрыскивания топлива // Молодежная наука 2014: технологии, инновации. Материалы Всероссийской научно-практической конференции, молодых ученых, аспирантов и студентов. Пермь, 2014. с. 101–104.
18. Лопатин, С.О., Скрябин М.Л. Влияние применения метаноле-топливной эмульсии на объемное содержание и массовую концентрацию оксидов азота в цилиндре дизеля 4Ч 11,0/12,5 в зависимости от изменения нагрузки // Молодежная наука 2014: технологии, инновации. Материалы Всероссийской научно-практической конференции, молодых ученых, аспирантов и студентов. Пермь, 2014. с. 96–98.
19. Лиханов, В.А., Гребнев А.В., Бузмаков Ю.Г., Скрябин М.Л. Улучшение эффективных показателей дизеля с промежуточным охлаждением наддувочного воздуха при работе на природном газе // Тракторы и сельхозмашины. 2008. № 6. с. 19–21.
20. Лиханов, В.А., Гребнев А.В., Бузмаков Ю.Г., Скрябин М.Л. Улучшение токсических показателей дизеля с промежуточным охлаждением наддувочного воздуха при работе на природном газе // Тракторы и сельхозмашины. 2008. № 7. с. 6–7.
21. Скрябин, М.Л. Улучшение экологических показателей дизеля 4ЧН 11,0/12,5 с промежуточным охлаждением наддувочного воздуха при работе на природном газе путем снижения содержания оксидов азота в отработавших газах. Диссертация на соискание ученой степени кандидата технических наук/Киров, 2009. — 202 с.
22. Скрябин, М.Л. Улучшение экологических показателей дизеля 4ЧН 11,0/12,5 с промежуточным охлаждением наддувочного воздуха при работе на природном газе путем снижения содержания оксидов азота в отработавших газах. Автореферат диссертации на соискание ученой степени кандидата технических наук/Санкт-Петербургский государственный аграрный университет. Санкт-Петербург, 2009. — 18 с.
23. Скрябин, М.Л. Разработка программы стендовых исследований газодизеля с промежуточным охлаждением наддувочного воздуха // Современная наука: актуальные проблемы и пути их решения. 2015. № 4 (17). с. 53–55.
24. Скрябин, М.Л. Особенности горения капли дизельного топлива в турбулентном потоке метано-воздушной смеси в цилиндре газодизеля // Современная наука: актуальные проблемы и пути их решения. 2015. № 4 (17). с. 56–59.
25. Скрябин, М.Л. Исследование мощностных и экономических показателей газодизеля с промежуточным охлаждением наддувочного воздуха // Современная наука: актуальные проблемы и пути их решения. 2015. № 4 (17). с. 59–62.
26. Скрябин, М.Л. Влияние угла опережения впрыскивания топлива на экологические показатели газодизеля с промежуточным охлаждением наддувочного воздуха // Современная наука: актуальные проблемы и пути их решения. 2015. № 4 (17). с. 62–65.
27. Лиханов, В.А. Улучшение эксплуатационных показателей тракторных дизелей путем применения альтернативных топлив. Автореферат диссертации на соискание ученой степени доктора технических наук/Санкт-Петербург, 1999.
28. Лиханов, В.А. Улучшение эксплуатационных показателей тракторных дизелей путем применения альтернативных топлив. Диссертация на соискание ученой степени доктора технических наук/Киров, 1999.

Динамика тепловыделения газодизеля при работе с рециркуляцией

Лопатин Олег Петрович, кандидат технических наук, доцент
Вятская государственная сельскохозяйственная академия (г. Киров)

Графики содержания оксидов азота, динамики выделения тепла, температуры газов, скорости отвода тепла и полезного выделения тепла в цилиндре газодизеля 4Ч 11,0/12,5 в зависимости от изменения угла поворота коленчатого вала (ПКВ) при работе по дизельному, газодизельному и газодизельному с рециркуляцией

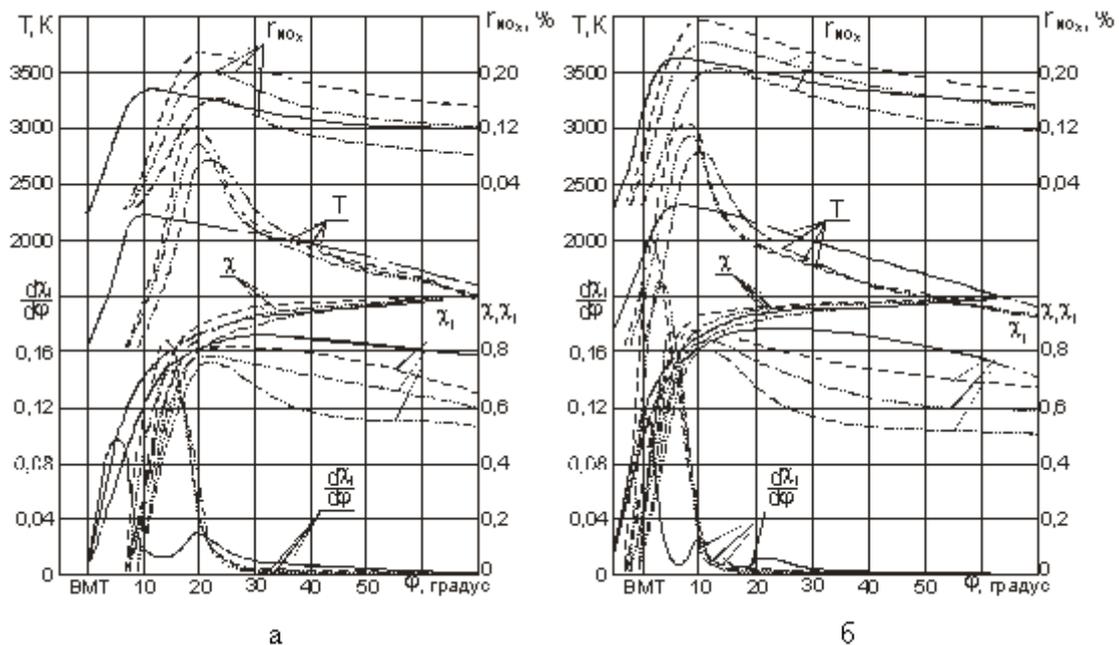


Рис. 1. Влияние применения природного газа и РОГ на характеристики тепловыделения и содержания оксидов азота в цилиндре дизеля 4Ч 11,0/12,5 в зависимости от изменения угла ПКВ двигателя при $\Theta_{впр} = 23^\circ$:
 а — $n = 2200 \text{ мин}^{-1}$ и $p_e = 0,63 \text{ МПа}$; б — $n = 1700 \text{ мин}^{-1}$ и $p_e = 0,69 \text{ МПа}$; — — — — дизельный процесс;
 - - - - газодизельный процесс; - · - · - · рециркуляция 10%; · · · · · рециркуляция 20%

отработавших газов (РОГ) процессам для частоты вращения 2200 мин^{-1} , установочного угла опережения впрыскивания топлива 23° и номинальной нагрузки представлены на рис. 1, а [1–5].

Из графиков видно, что максимальное содержание оксидов азота в цилиндре следует сразу за максимальной температурой цикла, значительно превышает содержание оксидов азота в ОГ и увеличивается с увеличением максимальной температуры цикла. Так, при работе по газодизельному процессу с 20%-ной РОГ максимальное содержание оксидов азота составляет 0,16%, что ниже газодизельного и дизельного процессов на 29,8 и 8,6% соответственно и выше на 53,1% содержания оксидов азота в ОГ на этом же режиме. Следовательно, это говорит о том, что с уменьшением температуры происходит активное разложение образовавшегося оксида азота. При работе по газодизельному с РОГ процессу уменьшается скорость активного выделения тепла [6–9]. Для газодизельного с РОГ процесса характерно уменьшение температуры газов в цилиндре, смещение максимального значения в сторону от в. м. т. Так, при работе газодизеля с 10%-ной РОГ на номинальном режиме происходит снижение максимальной температуры газов в цилиндре с 3000 К при чисто газодизельном процессе до 2850 К, при работе

газодизеля с 20%-ной РОГ максимальная температура цикла составляет 2700 К, что ниже на 300 К чисто газодизельного процесса [10–15].

Характеристики тепловыделения и содержание оксидов азота в цилиндре газодизеля 4Ч 11,0/12,5 в зависимости от изменения угла ПКВ при работе по дизельному, газодизельному и газодизельному с РОГ процессам для частоты вращения 1700 мин^{-1} представлены на рис. 1, б [16–19].

Из графиков видно, что при работе по газодизельному процессу с РОГ уменьшается содержание оксидов азота в цилиндре, динамика выделения тепла, изменяется характер протекания кривых скорости отвода тепла и полезного выделения тепла. Для газодизельного процесса с увеличением степени РОГ характерно уменьшение температуры газов и содержания оксидов азота в цилиндре по отношению к газодизельному процессу, смещение максимальных значений вправо от верхней мертвой точки. Уменьшение свежего заряда при работе по газодизельному с РОГ процессу приводит к снижению показателей процесса сгорания. Это вызывает уменьшение коэффициента активного тепловыделения, что предопределяет менее эффективное использование тепла в цилиндре газодизеля с увеличением степени РОГ [20–24].

Литература:

1. Анфилатов, А. А. Снижение содержания оксидов азота в отработавших газах дизеля 2Ч 10,5/12,0 путём применения метанола с двойной системы топливоподачи. Диссертация на соискание ученой степени кандидата технических наук/Киров, 2009. — 184 с.

2. Анфилатов, А. А., Лиханов В. А., Лопатин О. П. Исследование процессов образования и разложения оксидов азота в цилиндре дизеля 2Ч 10,5/12,0 путем применения метанола с двойной системой топливоподачи: Монография. — Киров, 2008. — 156 с.
3. Лиханов, В. А., Анфилатов А. А. Изменение образования оксидов азота в цилиндре дизеля при работе на метаноле // Тракторы и сельхозмашины. 2015. № 4. с. 3–5.
4. Лиханов, В. А., Лопатин О. П., Анфилатов А. А. Снижение содержания оксидов азота в отработавших газах дизеля путём применения метанола с использованием двойной системы топливоподачи // Тракторы и сельхозмашины. 2012. № 5. с. 5–8.
5. Анфилатов, А. А. Снижение содержания оксидов азота в отработавших газах дизеля 2Ч 10,5/12,0 путём применения метанола с двойной системы топливоподачи. Автореферат диссертации на соискание ученой степени кандидата технических наук/Санкт-Петербургский государственный аграрный университет. Санкт-Петербург, 2009. — 18 с.
6. Лиханов, В. А., Чувашев А. Н., Глухов А. А., Анфилатов А. А. Улучшение экологических показателей дизеля 2Ч 10,5/12,0 при работе на метаноле // Тракторы и сельхозмашины. 2007. № 3. с. 4–5.
7. Лиханов, В. А., Чувашев А. Н., Глухов А. А., Анфилатов А. А. Улучшение эффективных и экологических показателей дизеля при работе на метаноле // Тракторы и сельхозмашины. 2007. № 4. с. 10–13.
8. Анфилатов, А. А. Влияние метанола на оксиды азота при сгорании в цилиндре дизеля // Молодой ученый. 2015. № 9 (89). с. 151–154.
9. Анфилатов, А. А. Химизм процесса образования оксидов азота в цилиндре дизеля при работе на метаноле // Молодой ученый. 2015. № 10 (90). с. 139–142.
10. Анфилатов, А. А. Теоретические расчеты объемного содержания оксидов азота в цилиндре дизеля при работе на метаноле для номинальной частоты вращения // Молодой ученый. 2015. № 10 (90). с. 142–145.
11. Лиханов, В. А., Анфилатов А. А. Исследование применения метанола в дизеле на оптимальных установочных углах // Современная наука: актуальные проблемы и пути их решения. 2015. № 4 (17). с. 42–44.
12. Анфилатов, А. А. Химизм процесса образования оксидов азота в цилиндре дизеля с воздушным охлаждением // Современная наука: актуальные проблемы и пути их решения. 2015. № 4 (17). с. 45–47.
13. Анфилатов, А. А. Исследование токсичности на скоростном режиме дизеля при работе на метаноле // Современная наука: актуальные проблемы и пути их решения. 2015. № 4 (17). с. 47–50.
14. Анфилатов, А. А. Исследование дымности в отработавших газах дизеля при работе на метаноле // Современная наука: актуальные проблемы и пути их решения. 2015. № 4 (17). с. 50–53.
15. Скрябин, М. Л. Исследование эффективных показателей газодизеля с промежуточным охлаждением наддувочного воздуха // Молодой ученый. 2015. № 10 (90). с. 312–315.
16. Скрябин, М. Л. Улучшение экологических показателей дизеля путем применения природного газа и промежуточного охлаждения наддувочного воздуха // Молодой ученый. 2015. № 10 (90). с. 315–318.
17. Скрябин, М. Л. Влияние применения природного газа на содержание токсичных компонентов в отработавших газах дизеля 4ЧН 11,0/12,5 с ПОНВ при работе на номинальной частоте вращения в зависимости от установочного угла опережения впрыскивания топлива // Молодежная наука 2014: технологии, инновации. Материалы Всероссийской научно-практической конференции, молодых ученых, аспирантов и студентов. Пермь, 2014. с. 101–104.
18. Лопатин, С. О., Скрябин М. Л. Влияние применения метанола-топливной эмульсии на объемное содержание и массовую концентрацию оксидов азота в цилиндре дизеля 4Ч 11,0/12,5 в зависимости от изменения нагрузки // Молодежная наука 2014: технологии, инновации. Материалы Всероссийской научно-практической конференции, молодых ученых, аспирантов и студентов. Пермь, 2014. с. 96–98.
19. Лиханов, В. А., Гребнев А. В., Бузмаков Ю. Г., Скрябин М. Л. Улучшение эффективных показателей дизеля с промежуточным охлаждением наддувочного воздуха при работе на природном газе // Тракторы и сельхозмашины. 2008. № 6. с. 19–21.
20. Лиханов, В. А., Гребнев А. В., Бузмаков Ю. Г., Скрябин М. Л. Улучшение токсических показателей дизеля с промежуточным охлаждением наддувочного воздуха при работе на природном газе // Тракторы и сельхозмашины. 2008. № 7. с. 6–7.
21. Скрябин, М. Л. Улучшение экологических показателей дизеля 4ЧН 11,0/12,5 с промежуточным охлаждением наддувочного воздуха при работе на природном газе путем снижения содержания оксидов азота в отработавших газах. Диссертация на соискание ученой степени кандидата технических наук/Киров, 2009. — 202 с.
22. Скрябин, М. Л. Улучшение экологических показателей дизеля 4ЧН 11,0/12,5 с промежуточным охлаждением наддувочного воздуха при работе на природном газе путем снижения содержания оксидов азота в отработавших газах. Автореферат диссертации на соискание ученой степени кандидата технических наук/Санкт-Петербургский государственный аграрный университет. Санкт-Петербург, 2009. — 18 с.

- 23. Скрябин, М.Л. Разработка программы стендовых исследований газодизеля с промежуточным охлаждением наддувочного воздуха // Современная наука: актуальные проблемы и пути их решения. 2015. № 4 (17). с. 53–55.
- 24. Скрябин, М.Л. Особенности горения капли дизельного топлива в турбулентном потоке метано-воздушной смеси в цилиндре газодизеля // Современная наука: актуальные проблемы и пути их решения. 2015. № 4 (17). с. 56–59.

Индицирование рабочего процесса газодизеля при работе с рециркуляцией

Лопатин Олег Петрович, кандидат технических наук, доцент
 Вятская государственная сельскохозяйственная академия (г. Киров)

Индикаторные диаграммы газодизеля 4Ч 11,0/12,5 при работе по дизельному, газодизельному и газодизельному с рециркуляцией отработавших газов (РОГ) процессам на установочном угле опережения впрыскивания топлива (УОВТ) 23° (оптимальном для газодизельного процесса), частоте вращения 2200 мин⁻¹ и номинальной нагрузке представлены на рис. 1, а [1–5].

Индикаторные диаграммы газодизеля 4Ч 11,0/12,5 при работе по дизельному, газодизельному и газодизельному с РОГ процессам на установочном УОВТ 26° (оптимальном для дизельного процесса), частоте вращения 2200 мин⁻¹ и номинальной нагрузке представлены на рис. 1, б. Для этих графиков по сравнению с установочным УОВТ_{впр} = 23° характерно большее максимальное давление газов в цилиндре, большая жесткость процесса сго-

рания, меньшее смещение точки максимального давления газов в цилиндре вправо от верхней мертвой точки [6–11].

Индикаторные диаграммы газодизеля 4Ч 11,0/12,5 при работе по дизельному, газодизельному и газодизельному с РОГ процессам на установочных УОВТ 23 и 26° и частоте вращения 1700 мин⁻¹ представлены на рис. 2 [12–19].

Общие закономерности изменения кривых давлений в зависимости от угла поворота коленчатого вала, рассмотренных для частоты 2200 мин⁻¹, характерны и для этого режима. При переходе на газодизельный процесс с РОГ уменьшается максимальное давление газов в цилиндре, жесткость процесса, увеличивается угол, соответствующий периоду задержки воспламенения. Из графиков видно, что при работе по газодизельному с РОГ процессу

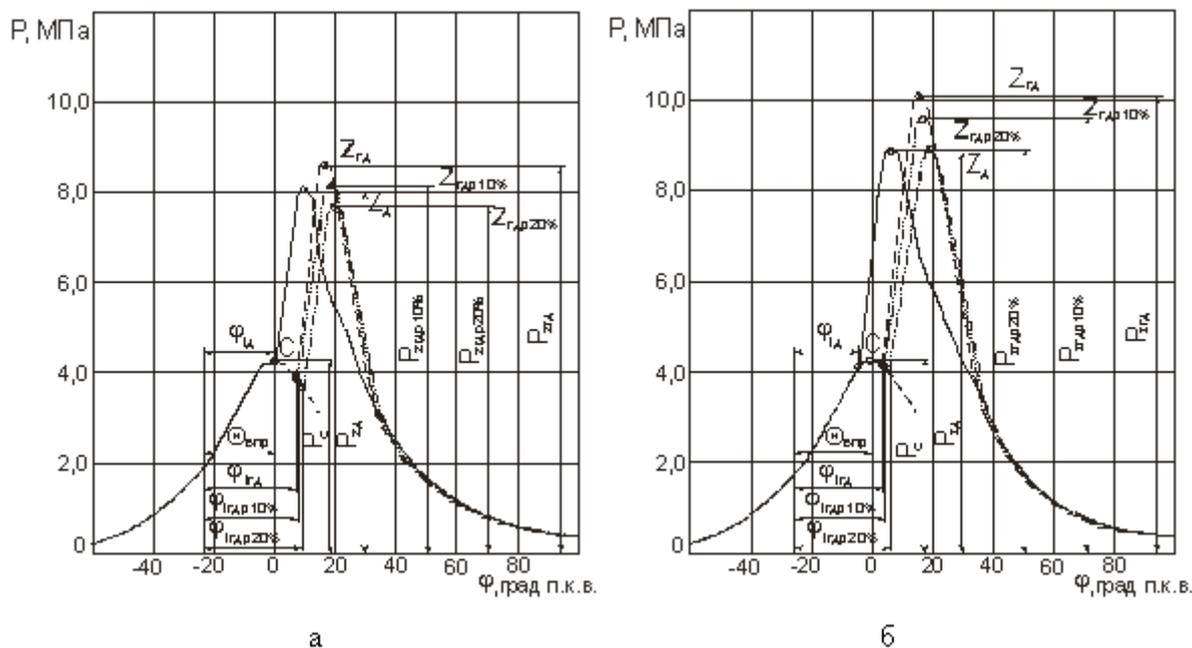


Рис. 1. Влияние применения природного газа и РОГ на индикаторные диаграммы дизеля 4Ч 11,0/12,5 при n=2200 мин⁻¹, p_e = 0,63 МПа: а — Θ_{впр} = 23°; б — Θ_{впр} = 26°; — — — дизельный процесс; - - - - газодизельный процесс; - · - · - рециркуляция 10%; - · - · - рециркуляция 20%

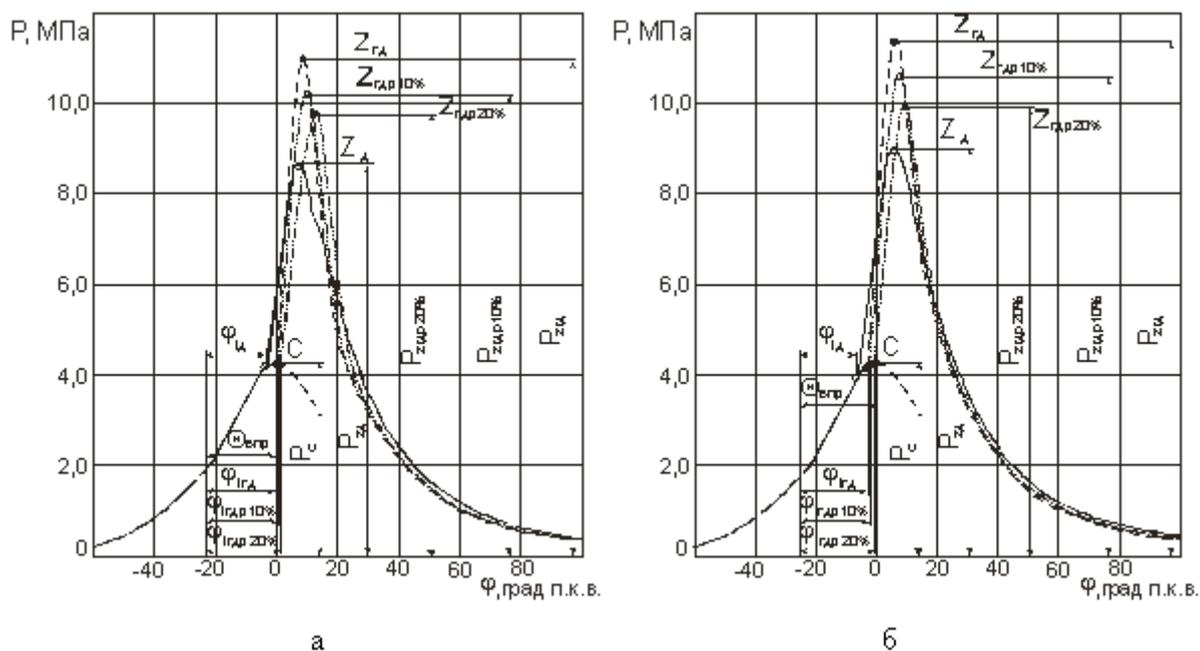


Рис. 2. Влияние применения природного газа и РОГ на индикаторные диаграммы дизеля 4С 11,0/12,5 при $n=1700 \text{ мин}^{-1}$, $p_e = 0,69 \text{ МПа}$: а — $\Theta_{\text{впр}} = 23^\circ$; б — $\Theta_{\text{впр}} = 26^\circ$; — — — — дизельный процесс; - - - - газодизельный процесс; - · - · - рециркуляция 10%; ····· рециркуляция 20%

увеличивается период задержки воспламенения, снижается максимальное давление газов в цилиндре [20–24].

При работе газодизеля с 10%-ной РОГ максимальное давление газов в цилиндре составляет $P_z = 8,2 \text{ МПа}$, при газодизельном процессе $P_z = 8,5 \text{ МПа}$, при дизельном процессе $P_z = 8,1 \text{ МПа}$. При работе с 20%-ной РОГ максимальное давление газов в цилиндре составляет $P_z = 7,7 \text{ МПа}$, что на 9,4% ниже газодизельного процесса

и на 4,9% ниже дизельного. Применение 20%-ной РОГ на газодизеле приводит к значительному повышению периода задержки воспламенения, применение же 10%-ной РОГ практически оставляет период задержки воспламенения на уровне чисто газодизельного процесса. С увеличением степени рециркуляции уменьшается угол наклона кривой давления газов, что свидетельствует о снижении жесткости процесса сгорания [25–29].

Литература:

1. Анфилатов, А.А. Снижение содержания оксидов азота в отработавших газах дизеля 2С 10,5/12,0 путём применения метанола с двойной системы топливоподачи. Диссертация на соискание ученой степени кандидата технических наук/Киров, 2009. — 184 с.
2. Анфилатов, А.А., Лиханов В.А., Лопатин О.П. Исследование процессов образования и разложения оксидов азота в цилиндре дизеля 2С 10,5/12,0 путем применения метанола с двойной системой топливоподачи: Монография. — Киров, 2008. — 156 с.
3. Лиханов, В.А., Анфилатов А.А. Изменение образования оксидов азота в цилиндре дизеля при работе на метаноле // Тракторы и сельхозмашины. 2015. № 4. с. 3–5.
4. Лиханов, В.А., Лопатин О.П., Анфилатов А.А. Снижение содержания оксидов азота в отработавших газах дизеля путём применения метанола с использованием двойной системы топливоподачи // Тракторы и сельхозмашины. 2012. № 5. с. 5–8.
5. Анфилатов, А.А. Снижение содержания оксидов азота в отработавших газах дизеля 2С 10,5/12,0 путём применения метанола с двойной системы топливоподачи. Автореферат диссертации на соискание ученой степени кандидата технических наук/Санкт-Петербургский государственный аграрный университет. Санкт-Петербург, 2009. — 18 с.
6. Лиханов, В.А., Чувашев А.Н., Глухов А.А., Анфилатов А.А. Улучшение экологических показателей дизеля 2С 10,5/12,0 при работе на метаноле // Тракторы и сельхозмашины. 2007. № 3. с. 4–5.
7. Лиханов, В.А., Чувашев А.Н., Глухов А.А., Анфилатов А.А. Улучшение эффективных и экологических показателей дизеля при работе на метаноле // Тракторы и сельхозмашины. 2007. № 4. с. 10–13.

8. Анфилатов, А. А. Влияние метанола на оксиды азота при сгорании в цилиндре дизеля // Молодой ученый. 2015. № 9 (89). с. 151–154.
9. Анфилатов, А. А. Химизм процесса образования оксидов азота в цилиндре дизеля при работе на метаноле // Молодой ученый. 2015. № 10 (90). с. 139–142.
10. Анфилатов, А. А. Теоретические расчеты объемного содержания оксидов азота в цилиндре дизеля при работе на метаноле для номинальной частоты вращения // Молодой ученый. 2015. № 10 (90). с. 142–145.
11. Лиханов, В. А., Анфилатов А. А. Исследование применения метанола в дизеле на оптимальных установочных углах // Современная наука: актуальные проблемы и пути их решения. 2015. № 4 (17). с. 42–44.
12. Анфилатов, А. А. Химизм процесса образования оксидов азота в цилиндре дизеля с воздушным охлаждением // Современная наука: актуальные проблемы и пути их решения. 2015. № 4 (17). с. 45–47.
13. Анфилатов, А. А. Исследование токсичности на скоростном режиме дизеля при работе на метаноле // Современная наука: актуальные проблемы и пути их решения. 2015. № 4 (17). с. 47–50.
14. Анфилатов, А. А. Исследование дымности в отработавших газах дизеля при работе на метаноле // Современная наука: актуальные проблемы и пути их решения. 2015. № 4 (17). с. 50–53.
15. Скрябин, М. Л. Исследование эффективных показателей газодизеля с промежуточным охлаждением наддувочного воздуха // Молодой ученый. 2015. № 10 (90). с. 312–315.
16. Скрябин, М. Л. Улучшение экологических показателей дизеля путем применения природного газа и промежуточного охлаждения наддувочного воздуха // Молодой ученый. 2015. № 10 (90). с. 315–318.
17. Скрябин, М. Л. Влияние применения природного газа на содержание токсичных компонентов в отработавших газах дизеля 4ЧН 11,0/12,5 с ПОНВ при работе на номинальной частоте вращения в зависимости от установочного угла опережения впрыскивания топлива // Молодежная наука 2014: технологии, инновации. Материалы Всероссийской научно-практической конференции, молодых ученых, аспирантов и студентов. Пермь, 2014. с. 101–104.
18. Лопатин, С. О., Скрябин М. Л. Влияние применения метанола-топливной эмульсии на объемное содержание и массовую концентрацию оксидов азота в цилиндре дизеля 4Ч 11,0/12,5 в зависимости от изменения нагрузки // Молодежная наука 2014: технологии, инновации. Материалы Всероссийской научно-практической конференции, молодых ученых, аспирантов и студентов. Пермь, 2014. с. 96–98.
19. Лиханов, В. А., Гребнев А. В., Бузмаков Ю. Г., Скрябин М. Л. Улучшение эффективных показателей дизеля с промежуточным охлаждением наддувочного воздуха при работе на природном газе // Тракторы и сельхозмашины. 2008. № 6. с. 19–21.
20. Лиханов, В. А., Гребнев А. В., Бузмаков Ю. Г., Скрябин М. Л. Улучшение токсических показателей дизеля с промежуточным охлаждением наддувочного воздуха при работе на природном газе // Тракторы и сельхозмашины. 2008. № 7. с. 6–7.
21. Скрябин, М. Л. Улучшение экологических показателей дизеля 4ЧН 11,0/12,5 с промежуточным охлаждением наддувочного воздуха при работе на природном газе путем снижения содержания оксидов азота в отработавших газах. Диссертация на соискание ученой степени кандидата технических наук/Киров, 2009. — 202 с.
22. Скрябин, М. Л. Улучшение экологических показателей дизеля 4ЧН 11,0/12,5 с промежуточным охлаждением наддувочного воздуха при работе на природном газе путем снижения содержания оксидов азота в отработавших газах. Автореферат диссертации на соискание ученой степени кандидата технических наук/Санкт-Петербургский государственный аграрный университет. Санкт-Петербург, 2009. — 18 с.
23. Скрябин, М. Л. Разработка программы стендовых исследований газодизеля с промежуточным охлаждением наддувочного воздуха // Современная наука: актуальные проблемы и пути их решения. 2015. № 4 (17). с. 53–55.
24. Скрябин, М. Л. Особенности горения капли дизельного топлива в турбулентном потоке метано-воздушной смеси в цилиндре газодизеля // Современная наука: актуальные проблемы и пути их решения. 2015. № 4 (17). с. 56–59.
25. Скрябин, М. Л. Исследование мощностных и экономических показателей газодизеля с промежуточным охлаждением наддувочного воздуха // Современная наука: актуальные проблемы и пути их решения. 2015. № 4 (17). с. 59–62.
26. Скрябин, М. Л. Влияние угла опережения впрыскивания топлива на экологические показатели газодизеля с промежуточным охлаждением наддувочного воздуха // Современная наука: актуальные проблемы и пути их решения. 2015. № 4 (17). с. 62–65.
27. Лиханов, В. А. Улучшение эксплуатационных показателей тракторных дизелей путем применения альтернативных топлив. Автореферат диссертации на соискание ученой степени доктора технических наук/Санкт-Петербург, 1999.
28. Лиханов, В. А. Улучшение эксплуатационных показателей тракторных дизелей путем применения альтернативных топлив. Диссертация на соискание ученой степени доктора технических наук/Киров, 1999.

29. Лиханов, В.А., Попов В.М. Работа дизеля на метаноле с двойной системой топливоподачи // Двигателестроение. 1986. № 8. с. 47.

Исследование показателей процесса сгорания газодизеля в зависимости от изменения нагрузки при работе с рециркуляцией

Лопатин Олег Петрович, кандидат технических наук, доцент
Вятская государственная сельскохозяйственная академия (г. Киров)

Показатели процесса сгорания дизеля 4С 11,0/12,5 при работе по дизельному, газодизельному и газодизельному с рециркуляцией отработавших газов (РОГ) процессам в зависимости от изменения нагрузки для частоты вращения 2200 мин⁻¹ и установочных углов 23 и 26° представлены на рис. 1 [1–6].

Из графиков видно, что кривые максимальной температуры газов в цилиндре, максимального давления, степени повышения давления и жесткости процесса сгорания при работе по газодизельному с РОГ процессу лежат ниже кривых чисто газодизельного процесса во всем диапазоне изменения нагрузок и уменьшаются с увеличением степени РОГ [7–14]. Так, при работе по газодизельному процессу с 40 %-ной РОГ при $\Theta_{впр} = 23^\circ$ в диапазоне изменения нагрузок от 0,13 до 0,51 МПа происходит снижение, по сравнению

с газодизельным процессом, максимальной температуры газов на 100...400 К, максимального давления на 7,9...19,2% и жесткости процесса сгорания на 40,4...34,5%. При работе по газодизельному процессу с 10 %-ной РОГ на номинальной нагрузке происходит снижение по сравнению с газодизельным процессом максимальной температуры газов на 150°К, максимального давления на 3,5% и жесткости процесса сгорания на 15,5%; при работе с 20 %-ной РОГ — максимальной температуры газов на 300°К, максимального давления на 9,4% и жесткости процесса сгорания на 18,8% [15–19]. Угол, соответствующий периоду задержки воспламенения, при газодизельном с РОГ процессе выше, чем при газодизельном на всех нагрузочных режимах и увеличивается с увеличением степени РОГ [20–28].

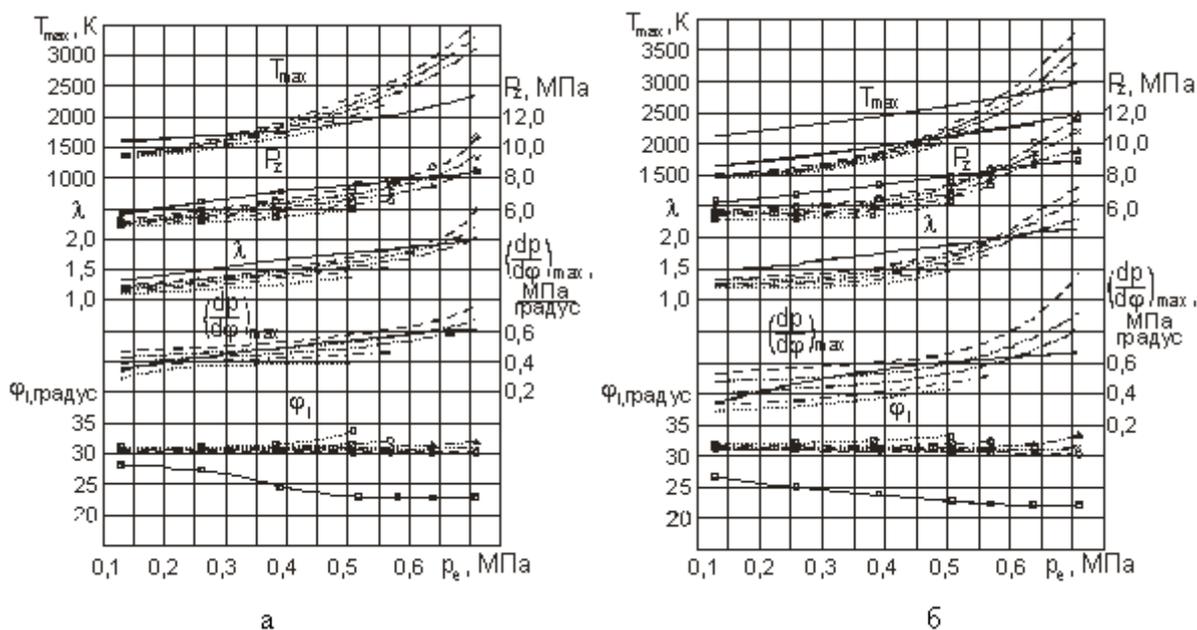


Рис. 1. Влияние применения природного газа и РОГ на показатели процесса сгорания дизеля 4С 11,0/12,5 в зависимости от изменения нагрузки при $n = 2200 \text{ мин}^{-1}$: а — $\Theta_{впр} = 23^\circ$; б — $\Theta_{впр} = 26^\circ$;
 ■ — дизельный процесс; ○ — газодизельный процесс; × — рециркуляция 10%;
 △ — рециркуляция 20%; ◊ — рециркуляция 30%; □ — рециркуляция 40%

Литература:

1. Анфилатов, А. А. Снижение содержания оксидов азота в отработавших газах дизеля 2Ч 10,5/12,0 путём применения метанола с двойной системы топливоподачи. Диссертация на соискание ученой степени кандидата технических наук/Киров, 2009. — 184 с.
2. Анфилатов, А. А., Лиханов В. А., Лопатин О. П. Исследование процессов образования и разложения оксидов азота в цилиндре дизеля 2Ч 10,5/12,0 путем применения метанола с двойной системой топливоподачи: Монография. — Киров, 2008. — 156 с.
3. Лиханов, В. А., Анфилатов А. А. Изменение образования оксидов азота в цилиндре дизеля при работе на метаноле // Тракторы и сельхозмашины. 2015. № 4. с. 3–5.
4. Лиханов, В. А., Лопатин О. П., Анфилатов А. А. Снижение содержания оксидов азота в отработавших газах дизеля путём применения метанола с использованием двойной системы топливоподачи // Тракторы и сельхозмашины. 2012. № 5. с. 5–8.
5. Анфилатов, А. А. Снижение содержания оксидов азота в отработавших газах дизеля 2Ч 10,5/12,0 путём применения метанола с двойной системы топливоподачи. Автореферат диссертации на соискание ученой степени кандидата технических наук/Санкт-Петербургский государственный аграрный университет. Санкт-Петербург, 2009. — 18 с.
6. Лиханов, В. А., Чувашев А. Н., Глухов А. А., Анфилатов А. А. Улучшение экологических показателей дизеля 2Ч 10,5/12,0 при работе на метаноле // Тракторы и сельхозмашины. 2007. № 3. с. 4–5.
7. Лиханов, В. А., Чувашев А. Н., Глухов А. А., Анфилатов А. А. Улучшение эффективных и экологических показателей дизеля при работе на метаноле // Тракторы и сельхозмашины. 2007. № 4. с. 10–13.
8. Анфилатов, А. А. Влияние метанола на оксиды азота при сгорании в цилиндре дизеля // Молодой ученый. 2015. № 9 (89). с. 151–154.
9. Анфилатов, А. А. Химизм процесса образования оксидов азота в цилиндре дизеля при работе на метаноле // Молодой ученый. 2015. № 10 (90). с. 139–142.
10. Анфилатов, А. А. Теоретические расчеты объемного содержания оксидов азота в цилиндре дизеля при работе на метаноле для номинальной частоты вращения // Молодой ученый. 2015. № 10 (90). с. 142–145.
11. Лиханов, В. А., Анфилатов А. А. Исследование применения метанола в дизеле на оптимальных установочных углах // Современная наука: актуальные проблемы и пути их решения. 2015. № 4 (17). с. 42–44.
12. Анфилатов, А. А. Химизм процесса образования оксидов азота в цилиндре дизеля с воздушным охлаждением // Современная наука: актуальные проблемы и пути их решения. 2015. № 4 (17). с. 45–47.
13. Анфилатов, А. А. Исследование токсичности на скоростном режиме дизеля при работе на метаноле // Современная наука: актуальные проблемы и пути их решения. 2015. № 4 (17). с. 47–50.
14. Анфилатов, А. А. Исследование дымности в отработавших газах дизеля при работе на метаноле // Современная наука: актуальные проблемы и пути их решения. 2015. № 4 (17). с. 50–53.
15. Скрябин, М. Л. Исследование эффективных показателей газодизеля с промежуточным охлаждением наддувочного воздуха // Молодой ученый. 2015. № 10 (90). с. 312–315.
16. Скрябин, М. Л. Улучшение экологических показателей дизеля путем применения природного газа и промежуточного охлаждения наддувочного воздуха // Молодой ученый. 2015. № 10 (90). с. 315–318.
17. Скрябин, М. Л. Влияние применения природного газа на содержание токсичных компонентов в отработавших газах дизеля 4ЧН 11,0/12,5 с ПОНВ при работе на номинальной частоте вращения в зависимости от установочного угла опережения впрыскивания топлива // Молодежная наука 2014: технологии, инновации. Материалы Всероссийской научно-практической конференции, молодых ученых, аспирантов и студентов. Пермь, 2014. с. 101–104.
18. Лопатин, С. О., Скрябин М. Л. Влияние применения метанола-топливной эмульсии на объемное содержание и массовую концентрацию оксидов азота в цилиндре дизеля 4Ч 11,0/12,5 в зависимости от изменения нагрузки // Молодежная наука 2014: технологии, инновации. Материалы Всероссийской научно-практической конференции, молодых ученых, аспирантов и студентов. Пермь, 2014. с. 96–98.
19. Лиханов, В. А., Гребнев А. В., Бузмаков Ю. Г., Скрябин М. Л. Улучшение эффективных показателей дизеля с промежуточным охлаждением наддувочного воздуха при работе на природном газе // Тракторы и сельхозмашины. 2008. № 6. с. 19–21.
20. Лиханов, В. А., Гребнев А. В., Бузмаков Ю. Г., Скрябин М. Л. Улучшение токсических показателей дизеля с промежуточным охлаждением наддувочного воздуха при работе на природном газе // Тракторы и сельхозмашины. 2008. № 7. с. 6–7.
21. Скрябин, М. Л. Улучшение экологических показателей дизеля 4ЧН 11,0/12,5 с промежуточным охлаждением наддувочного воздуха при работе на природном газе путем снижения содержания оксидов азота в отработавших газах. Диссертация на соискание ученой степени кандидата технических наук/Киров, 2009. — 202 с.

22. Скрябин, М.Л. Улучшение экологических показателей дизеля 4ЧН 11,0/12,5 с промежуточным охлаждением наддувочного воздуха при работе на природном газе путем снижения содержания оксидов азота в отработавших газах. Автореферат диссертации на соискание ученой степени кандидата технических наук/Санкт-Петербургский государственный аграрный университет. Санкт-Петербург, 2009. — 18 с.
23. Скрябин, М.Л. Разработка программы стендовых исследований газодизеля с промежуточным охлаждением наддувочного воздуха // Современная наука: актуальные проблемы и пути их решения. 2015. № 4 (17). с. 53–55.
24. Скрябин, М.Л. Особенности горения капли дизельного топлива в турбулентном потоке метано-воздушной смеси в цилиндре газодизеля // Современная наука: актуальные проблемы и пути их решения. 2015. № 4 (17). с. 56–59.
25. Скрябин, М.Л. Исследование мощностных и экономических показателей газодизеля с промежуточным охлаждением наддувочного воздуха // Современная наука: актуальные проблемы и пути их решения. 2015. № 4 (17). с. 59–62.
26. Скрябин, М.Л. Влияние угла опережения впрыскивания топлива на экологические показатели газодизеля с промежуточным охлаждением наддувочного воздуха // Современная наука: актуальные проблемы и пути их решения. 2015. № 4 (17). с. 62–65.
27. Лиханов, В.А. Улучшение эксплуатационных показателей тракторных дизелей путем применения альтернативных топлив. Автореферат диссертации на соискание ученой степени доктора технических наук/Санкт-Петербург, 1999.
28. Лиханов, В.А. Улучшение эксплуатационных показателей тракторных дизелей путем применения альтернативных топлив. Диссертация на соискание ученой степени доктора технических наук/Киров, 1999.

Нагрузочные характеристики токсичности газодизеля при работе с рециркуляцией

Лопатин Олег Петрович, кандидат технических наук, доцент
Вятская государственная сельскохозяйственная академия (г. Киров)

Содержание токсичных компонентов в отработавших газах (ОГ) газодизеля 4Ч 11,0/12,5 в зависимости от изменения нагрузки при частоте вращения 2200 мин⁻¹

и установочном угле опережения впрыскивания топлива (УОВТ) 23° представлено на рис. 1, а.

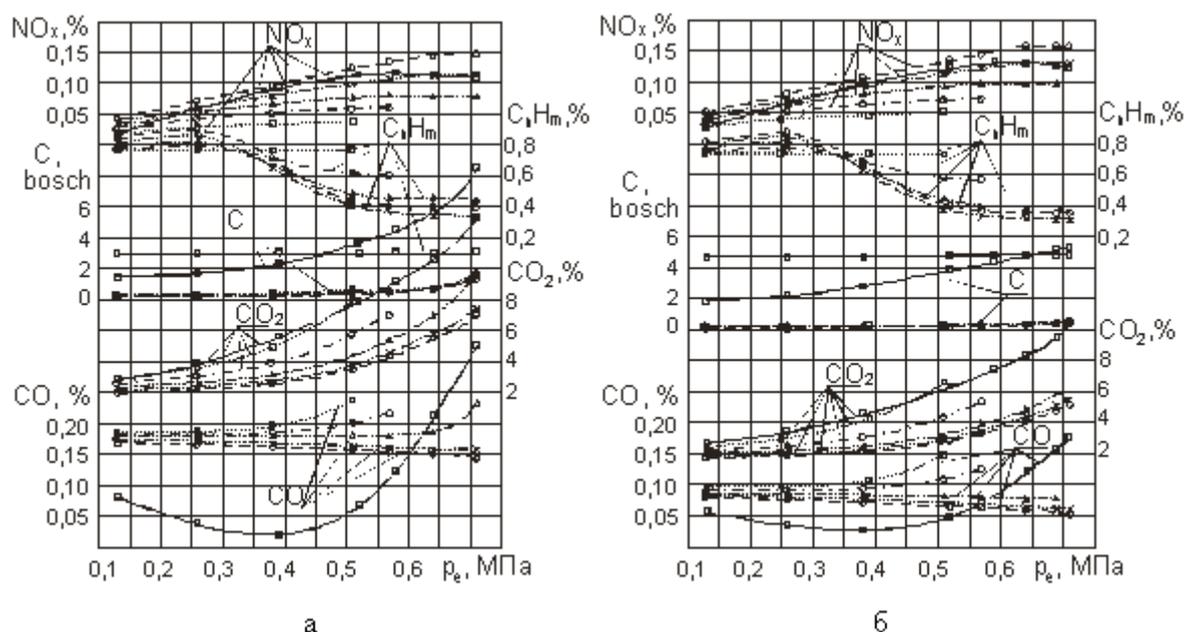


Рис. 1. Влияние применения природного газа и РОГ на показатели токсичности и дымности ОГ дизеля 4Ч 11,0/12,5 в зависимости от изменения нагрузки при $\Theta_{впр} = 23^\circ$: а — $n = 2200 \text{ мин}^{-1}$; б — $n = 1700 \text{ мин}^{-1}$; \square — дизельный процесс; \circ — газодизельный процесс; \times — рециркуляция 10%; \triangle — рециркуляция 20%; \circ — рециркуляция 30%; \square — рециркуляция 40%

Из графиков видно, что применение компримированного природного газа на дизеле 4Ч 11,0/12,5 приводит к увеличению содержания оксидов азота в ОГ. Так, на номинальном режиме работы это увеличение составляет 24,1%, а при $p_c = 0,13$ МПа выброс оксидов азота увеличивается на 60,5%. Применение РОГ снижает содержание оксидов азота в ОГ во всём диапазоне изменения нагрузок. При работе по газодизельному процессу с 40%-ной РОГ в диапазоне изменения нагрузки от 0,13 до 0,26 МПа происходит снижение NO_x на 63,4% [1–6].

При работе газодизеля на номинальном режиме с 10%-ной РОГ содержание NO_x в ОГ ниже на 24,1% газодизельного процесса и соответствует дизельному процессу. Применение РОГ вызывает неоднозначное влияние на содержание суммарных углеводородов в ОГ. Так, при работе газодизеля с 40%-ной РОГ на малых нагрузках от 0,13 до 0,26 МПа происходит снижение C_nH_m на 8,7...14,5%, но при $p_c = 0,51$ МПа происходит увеличение на 42,5% [7–12].

При работе на номинальном режиме с 10%-ной РОГ происходит снижение C_nH_m на 9,9%, а при увеличении степени РОГ до 20% происходит увеличение выброса C_nH_m с ОГ на 10,2% относительно чисто газодизельного процесса. Существенно снижается содержание в отработавших газах сажи при работе по газодизельному процессу. При работе газодизеля с 40%-ной РОГ на малых нагрузках увеличение сажесодержания в ОГ не превышает 5%. При работе на номинальном режиме с 10%-ной РОГ происходит увеличение выбросов сажи на 4,1%, при $p =$

20% — на 12,5%. Применение РОГ на газодизеле приводит к росту CO и CO_2 во всём диапазоне изменения нагрузок. Так, при работе с 40%-ной РОГ при средних нагрузках от 0,26 до 0,38 МПа рост составляет от 12,3 до 17,1% и от 42,2 до 48,8% для CO и CO_2 соответственно. При работе с 20%-ной РОГ на номинальной нагрузке рост составляет 18,9 и 20,0%, при снижении РОГ до 10% увеличение составляет 6,3 и 5,1% для CO и CO_2 соответственно. Необходимо отметить, что значительный рост суммарных углеводородов на больших нагрузках обусловлен неполнотой сгорания топлива в условиях недостатка окислителя с увеличением степени РОГ [13–19].

Содержание токсичных компонентов в ОГ газодизеля 4Ч 11,0/12,5 в зависимости от изменения нагрузки при частоте вращения 1700 мин^{-1} представлено на рис. 1, б. Из графиков следует, что для этой частоты вращения зависимости изменения содержания токсичных компонентов в ОГ от нагрузки при переходе с одного вида рабочего процесса на другой аналогичны зависимостям при частоте вращения 2200 мин^{-1} . Применение РОГ приводит к снижению во всём диапазоне нагрузок оксидов азота. Суммарные углеводороды при работе газодизеля с 10%-ной РОГ снижаются также во всём диапазоне изменения нагрузок, при увеличении степени РОГ до 20% и более происходит незначительное снижение C_nH_m на малых нагрузках и значительное увеличение на больших. Содержание CO , CO_2 и сажи возрастает с увеличением степени РОГ на всех нагрузочных режимах [20–29].

Литература:

1. Анфилатов, А. А. Снижение содержания оксидов азота в отработавших газах дизеля 2Ч 10,5/12,0 путём применения метанола с двойной системы топливоподачи. Диссертация на соискание ученой степени кандидата технических наук/Киров, 2009. — 184 с.
2. Анфилатов, А. А., Лиханов В. А., Лопатин О. П. Исследование процессов образования и разложения оксидов азота в цилиндре дизеля 2Ч 10,5/12,0 путем применения метанола с двойной системой топливоподачи: Монография. — Киров, 2008. — 156 с.
3. Лиханов, В. А., Анфилатов А. А. Изменение образования оксидов азота в цилиндре дизеля при работе на метаноле // Тракторы и сельхозмашины. 2015. № 4. с. 3–5.
4. Лиханов, В. А., Лопатин О. П., Анфилатов А. А. Снижение содержания оксидов азота в отработавших газах дизеля путём применения метанола с использованием двойной системы топливоподачи // Тракторы и сельхозмашины. 2012. № 5. с. 5–8.
5. Анфилатов, А. А. Снижение содержания оксидов азота в отработавших газах дизеля 2Ч 10,5/12,0 путём применения метанола с двойной системы топливоподачи. Автореферат диссертации на соискание ученой степени кандидата технических наук/Санкт-Петербургский государственный аграрный университет. Санкт-Петербург, 2009. — 18 с.
6. Лиханов, В. А., Чувашев А. Н., Глухов А. А., Анфилатов А. А. Улучшение экологических показателей дизеля 2Ч 10,5/12,0 при работе на метаноле // Тракторы и сельхозмашины. 2007. № 3. с. 4–5.
7. Лиханов, В. А., Чувашев А. Н., Глухов А. А., Анфилатов А. А. Улучшение эффективных и экологических показателей дизеля при работе на метаноле // Тракторы и сельхозмашины. 2007. № 4. с. 10–13.
8. Анфилатов, А. А. Влияние метанола на оксиды азота при сгорании в цилиндре дизеля // Молодой ученый. 2015. № 9 (89). с. 151–154.
9. Анфилатов, А. А. Химизм процесса образования оксидов азота в цилиндре дизеля при работе на метаноле // Молодой ученый. 2015. № 10 (90). с. 139–142.
10. Анфилатов, А. А. Теоретические расчеты объемного содержания оксидов азота в цилиндре дизеля при работе на метаноле для номинальной частоты вращения // Молодой ученый. 2015. № 10 (90). с. 142–145.

11. Лиханов, В. А., Анфилатов А. А. Исследование применения метанола в дизеле на оптимальных установочных углах // Современная наука: актуальные проблемы и пути их решения. 2015. № 4 (17). с. 42–44.
12. Анфилатов, А. А. Химизм процесса образования оксидов азота в цилиндре дизеля с воздушным охлаждением // Современная наука: актуальные проблемы и пути их решения. 2015. № 4 (17). с. 45–47.
13. Анфилатов, А. А. Исследование токсичности на скоростном режиме дизеля при работе на метаноле // Современная наука: актуальные проблемы и пути их решения. 2015. № 4 (17). с. 47–50.
14. Анфилатов, А. А. Исследование дымности в отработавших газах дизеля при работе на метаноле // Современная наука: актуальные проблемы и пути их решения. 2015. № 4 (17). с. 50–53.
15. Скрябин, М. Л. Исследование эффективных показателей газодизеля с промежуточным охлаждением наддувочного воздуха // Молодой ученый. 2015. № 10 (90). с. 312–315.
16. Скрябин, М. Л. Улучшение экологических показателей дизеля путем применения природного газа и промежуточного охлаждения наддувочного воздуха // Молодой ученый. 2015. № 10 (90). с. 315–318.
17. Скрябин, М. Л. Влияние применения природного газа на содержание токсичных компонентов в отработавших газах дизеля 4ЧН 11,0/12,5 с ПОНВ при работе на номинальной частоте вращения в зависимости от установочного угла опережения впрыскивания топлива // Молодежная наука 2014: технологии, инновации. Материалы Всероссийской научно-практической конференции, молодых ученых, аспирантов и студентов. Пермь, 2014. с. 101–104.
18. Лопатин, С. О., Скрябин М. Л. Влияние применения метанола-топливной эмульсии на объемное содержание и массовую концентрацию оксидов азота в цилиндре дизеля 4Ч 11,0/12,5 в зависимости от изменения нагрузки // Молодежная наука 2014: технологии, инновации. Материалы Всероссийской научно-практической конференции, молодых ученых, аспирантов и студентов. Пермь, 2014. с. 96–98.
19. Лиханов, В. А., Гребнев А. В., Бузмаков Ю. Г., Скрябин М. Л. Улучшение эффективных показателей дизеля с промежуточным охлаждением наддувочного воздуха при работе на природном газе // Тракторы и сельхозмашины. 2008. № 6. с. 19–21.
20. Лиханов, В. А., Гребнев А. В., Бузмаков Ю. Г., Скрябин М. Л. Улучшение токсических показателей дизеля с промежуточным охлаждением наддувочного воздуха при работе на природном газе // Тракторы и сельхозмашины. 2008. № 7. с. 6–7.
21. Скрябин, М. Л. Улучшение экологических показателей дизеля 4ЧН 11,0/12,5 с промежуточным охлаждением наддувочного воздуха при работе на природном газе путем снижения содержания оксидов азота в отработавших газах. Диссертация на соискание ученой степени кандидата технических наук/Киров, 2009. — 202 с.
22. Скрябин, М. Л. Улучшение экологических показателей дизеля 4ЧН 11,0/12,5 с промежуточным охлаждением наддувочного воздуха при работе на природном газе путем снижения содержания оксидов азота в отработавших газах. Автореферат диссертации на соискание ученой степени кандидата технических наук/Санкт-Петербургский государственный аграрный университет. Санкт-Петербург, 2009. — 18 с.
23. Скрябин, М. Л. Разработка программы стендовых исследований газодизеля с промежуточным охлаждением наддувочного воздуха // Современная наука: актуальные проблемы и пути их решения. 2015. № 4 (17). с. 53–55.
24. Скрябин, М. Л. Особенности горения капли дизельного топлива в турбулентном потоке метано-воздушной смеси в цилиндре газодизеля // Современная наука: актуальные проблемы и пути их решения. 2015. № 4 (17). с. 56–59.
25. Скрябин, М. Л. Исследование мощностных и экономических показателей газодизеля с промежуточным охлаждением наддувочного воздуха // Современная наука: актуальные проблемы и пути их решения. 2015. № 4 (17). с. 59–62.
26. Скрябин, М. Л. Влияние угла опережения впрыскивания топлива на экологические показатели газодизеля с промежуточным охлаждением наддувочного воздуха // Современная наука: актуальные проблемы и пути их решения. 2015. № 4 (17). с. 62–65.
27. Лиханов, В. А. Улучшение эксплуатационных показателей тракторных дизелей путем применения альтернативных топлив. Автореферат диссертации на соискание ученой степени доктора технических наук/Санкт-Петербург, 1999.
28. Лиханов, В. А. Улучшение эксплуатационных показателей тракторных дизелей путем применения альтернативных топлив. Диссертация на соискание ученой степени доктора технических наук/Киров, 1999.
29. Лиханов, В. А., Попов В. М. Работа дизеля на метаноле с двойной системой топливоподачи // Двигателестроение. 1986. № 8. с. 47.

Регулировочные характеристики содержания токсичных компонентов в ОГ дизеля при работе с рециркуляцией

Лопатин Олег Петрович, кандидат технических наук, доцент
Вятская государственная сельскохозяйственная академия (г. Киров)

Содержание токсичных компонентов в отработавших газах (ОГ) газодизеля 4Ч 11,0/12,5 в зависимости от изменения установочного угла опережения впрыскивания топлива (УОВТ) для частоты вращения 2200 мин⁻¹ представлено на рис. 1, а. Из графиков видно, что при изменении установочного УОВТ содержание оксидов азота при работе по газодизельному с рециркуляцией отработавших газов (РОГ) процессу изменяется по зависимости, аналогичной зависимости дизельного процесса, то есть при увеличении угла выход оксидов азота возрастает [1–5].

Так, при работе газодизеля с 10%-ной РОГ при $\Theta_{впр} = 26^\circ$ содержание NO_x в ОГ составляет 0,13%, что ниже на 21,2% газодизельного процесса и ниже на 3,7% дизельного процесса. При работе газодизеля с 10%-ной РОГ при $\Theta_{впр} = 23^\circ$ содержание NO_x в ОГ составляет 0,11%, что ниже на 24,1% газодизельного процесса, соответствует дизельному процессу и ниже на 15,4% при работе газодизеля с 10%-ной РОГ при $\Theta_{впр} = 26^\circ$. Дальнейшее увеличение степени РОГ приводит к ещё большему снижению оксидов азота, но вызывает рост продуктов неполного сгорания. Газодизельный процесс сопровождается увеличением выбросов суммарных углеводородов — их содержание в отработавших газах выше в 4...5 раз, по сравнению с дизельным процессом. Изменение концентрации

C_nH_m в зависимости от установочного угла опережения впрыскивания топлива при газодизельном процессе с РОГ и без неё уменьшается при увеличении установочного угла. При работе газодизеля с 10%-ной РОГ при $\Theta_{впр} = 26^\circ$ содержание C_nH_m в ОГ составляет 0,32%, что ниже на 5,9% газодизельного процесса. При работе газодизеля с 10%-ной РОГ при $\Theta_{впр} = 23^\circ$ содержание C_nH_m в ОГ составляет 0,36%, что ниже на 9,9% газодизельного процесса. Применение 20%-ной РОГ приводит к увеличению C_nH_m до величин, превышающих значения чисто газодизельного процесса.

Анализ содержания сажи в отработавших газах при работе по газодизельному процессу с РОГ и без неё показывает, что при увеличении установочного угла опережения впрыскивания топлива содержание сажи практически не возрастает. Применение РОГ приводит к незначительному росту сажи, в то время как при работе по дизельному процессу содержание сажи существенно возрастает. Дымность ОГ при газодизельном процессе с РОГ и без неё ниже дизельного процесса в 4...5 раз [6–10].

Содержание СО при увеличении угла при работе по газодизельному процессу с РОГ также уменьшается. При работе по газодизельному процессу с 10%-ной РОГ при $\Theta_{впр} = 23^\circ$ содержание СО в ОГ выше на 6,3% га-

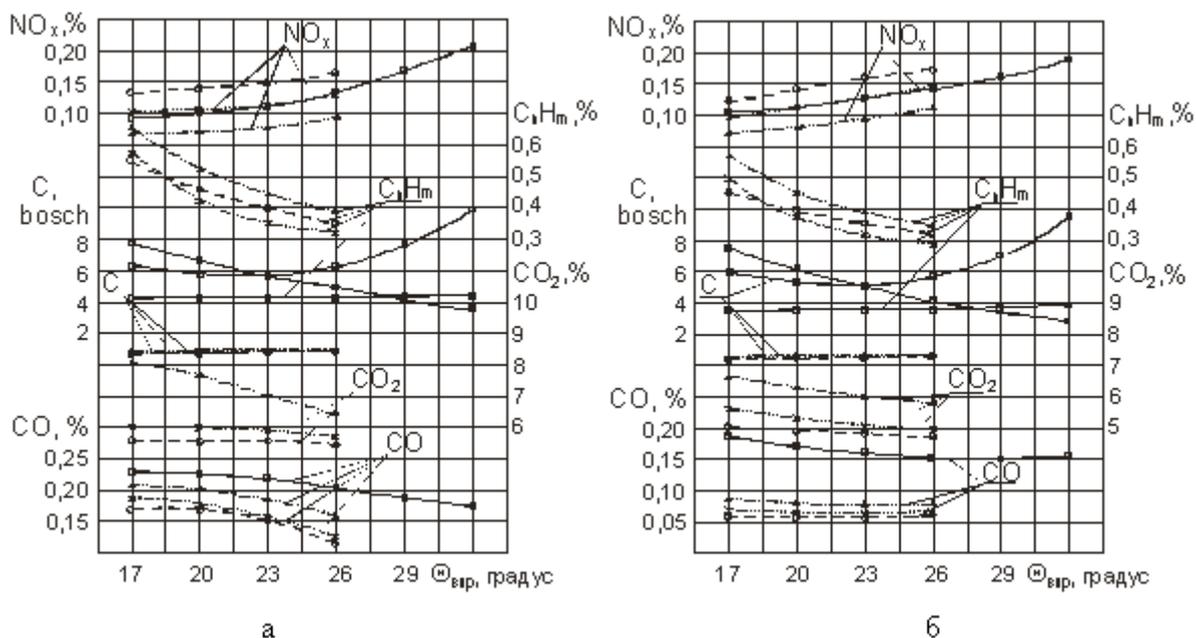


Рис. 1. Регулировочные характеристики содержания токсичных компонентов в ОГ газодизеля при работе с РОГ в зависимости от изменения установочного УОВТ: а — $n = 2200 \text{ мин}^{-1}$; б — $n = 1700 \text{ мин}^{-1}$; \square — дизельный процесс; \circ — газодизельный процесс; \times — рециркуляция 10%; \triangle — рециркуляция 20%

зодизельного процесса, ниже на 25,6% дизельного процесса и выше на 23,1% при работе газодизеля с 10%-ной РОГ при $\Theta_{\text{впр}} = 26^\circ$. Содержание CO_2 при увеличении угла при работе по газодизельному с РОГ процессу уменьшается, и при увеличении рециркуляции уменьшение происходит в большей степени. Так, при работе газодизеля с 10%-ной РОГ при $\Theta_{\text{впр}} = 23^\circ$ содержание CO_2 в ОГ выше на 5,1% газодизельного процесса, ниже на 45,4% дизельного процесса и выше на 3,4% при работе газодизеля с 10%-ной РОГ при $\Theta_{\text{впр}} = 26^\circ$ [11–17].

Содержание токсичных компонентов в ОГ газодизеля 4Ч 11,0/12,5 в зависимости от изменения установочного угла опережения впрыскивания топлива для частоты вращения 1700 мин⁻¹ представлено на рис. 1, б. При этом при работе по газодизельному и газодизельному с РОГ процессам закономерности изменения содержания токсичных компо-

нентов в ОГ аналогичны закономерностям при частоте вращения 2200 мин⁻¹. Содержание CO в ОГ в данном случае с увеличением установочного угла опережения впрыскивания топлива практически не изменяется [18–23].

Таким образом, по результатам регулировочных характеристик в зависимости от изменения установочного УОВТ, влиянию его на мощностные и экономические показатели [24–26], на содержание токсичных компонентов в ОГ и содержание оксидов азота в цилиндре, параметры процесса сгорания и тепловыделения [27–29], для частот вращения 2200 мин⁻¹ и 1700 мин⁻¹ был выбран в качестве оптимального для газодизельного с РОГ процесса установочный УОВТ 23° до верхней мертвой точки. Поскольку двигатель не имеет какого-либо устройства для быстрого изменения установочного угла, это же значение рекомендовано и для дизельного процесса.

Литература:

1. Анфилатов, А. А. Снижение содержания оксидов азота в отработавших газах дизеля 2Ч 10,5/12,0 путём применения метанола с двойной системы топливоподачи. Диссертация на соискание ученой степени кандидата технических наук/Киров, 2009. — 184 с.
2. Анфилатов, А. А., Лиханов В. А., Лопатин О. П. Исследование процессов образования и разложения оксидов азота в цилиндре дизеля 2Ч 10,5/12,0 путем применения метанола с двойной системой топливоподачи: Монография. — Киров, 2008. — 156 с.
3. Лиханов, В. А., Анфилатов А. А. Изменение образования оксидов азота в цилиндре дизеля при работе на метаноле // Тракторы и сельхозмашины. 2015. № 4. с. 3–5.
4. Лиханов, В. А., Лопатин О. П., Анфилатов А. А. Снижение содержания оксидов азота в отработавших газах дизеля путём применения метанола с использованием двойной системы топливоподачи // Тракторы и сельхозмашины. 2012. № 5. с. 5–8.
5. Анфилатов, А. А. Снижение содержания оксидов азота в отработавших газах дизеля 2Ч 10,5/12,0 путём применения метанола с двойной системы топливоподачи. Автореферат диссертации на соискание ученой степени кандидата технических наук/Санкт-Петербургский государственный аграрный университет. Санкт-Петербург, 2009. — 18 с.
6. Лиханов, В. А., Чувашев А. Н., Глухов А. А., Анфилатов А. А. Улучшение экологических показателей дизеля 2Ч 10,5/12,0 при работе на метаноле // Тракторы и сельхозмашины. 2007. № 3. с. 4–5.
7. Лиханов, В. А., Чувашев А. Н., Глухов А. А., Анфилатов А. А. Улучшение эффективных и экологических показателей дизеля при работе на метаноле // Тракторы и сельхозмашины. 2007. № 4. с. 10–13.
8. Анфилатов, А. А. Влияние метанола на оксиды азота при сгорании в цилиндре дизеля // Молодой ученый. 2015. № 9 (89). с. 151–154.
9. Анфилатов, А. А. Химизм процесса образования оксидов азота в цилиндре дизеля при работе на метаноле // Молодой ученый. 2015. № 10 (90). с. 139–142.
10. Анфилатов, А. А. Теоретические расчеты объемного содержания оксидов азота в цилиндре дизеля при работе на метаноле для номинальной частоты вращения // Молодой ученый. 2015. № 10 (90). с. 142–145.
11. Лиханов, В. А., Анфилатов А. А. Исследование применения метанола в дизеле на оптимальных установочных углах // Современная наука: актуальные проблемы и пути их решения. 2015. № 4 (17). с. 42–44.
12. Анфилатов, А. А. Химизм процесса образования оксидов азота в цилиндре дизеля с воздушным охлаждением // Современная наука: актуальные проблемы и пути их решения. 2015. № 4 (17). с. 45–47.
13. Анфилатов, А. А. Исследование токсичности на скоростном режиме дизеля при работе на метаноле // Современная наука: актуальные проблемы и пути их решения. 2015. № 4 (17). с. 47–50.
14. Анфилатов, А. А. Исследование дымности в отработавших газах дизеля при работе на метаноле // Современная наука: актуальные проблемы и пути их решения. 2015. № 4 (17). с. 50–53.
15. Скрябин, М. Л. Исследование эффективных показателей газодизеля с промежуточным охлаждением наддувочного воздуха // Молодой ученый. 2015. № 10 (90). с. 312–315.
16. Скрябин, М. Л. Улучшение экологических показателей дизеля путем применения природного газа и промежуточного охлаждения наддувочного воздуха // Молодой ученый. 2015. № 10 (90). с. 315–318.

17. Скрябин, М.Л. Влияние применения природного газа на содержание токсичных компонентов в отработавших газах дизеля 4ЧН 11,0/12,5 с ПОНВ при работе на номинальной частоте вращения в зависимости от установочного угла опережения впрыскивания топлива // Молодежная наука 2014: технологии, инновации. Материалы Всероссийской научно-практической конференции, молодых ученых, аспирантов и студентов. Пермь, 2014. с. 101–104.
18. Лопатин, С.О., Скрябин М.Л. Влияние применения метанола-топливной эмульсии на объемное содержание и массовую концентрацию оксидов азота в цилиндре дизеля 4Ч 11,0/12,5 в зависимости от изменения нагрузки // Молодежная наука 2014: технологии, инновации. Материалы Всероссийской научно-практической конференции, молодых ученых, аспирантов и студентов. Пермь, 2014. с. 96–98.
19. Лиханов, В.А., Гребнев А.В., Бузмаков Ю.Г., Скрябин М.Л. Улучшение эффективных показателей дизеля с промежуточным охлаждением наддувочного воздуха при работе на природном газе // Тракторы и сельхозмашины. 2008. № 6. с. 19–21.
20. Лиханов, В.А., Гребнев А.В., Бузмаков Ю.Г., Скрябин М.Л. Улучшение токсических показателей дизеля с промежуточным охлаждением наддувочного воздуха при работе на природном газе // Тракторы и сельхозмашины. 2008. № 7. с. 6–7.
21. Скрябин, М.Л. Улучшение экологических показателей дизеля 4ЧН 11,0/12,5 с промежуточным охлаждением наддувочного воздуха при работе на природном газе путем снижения содержания оксидов азота в отработавших газах. Диссертация на соискание ученой степени кандидата технических наук/Киров, 2009. — 202 с.
22. Скрябин, М.Л. Улучшение экологических показателей дизеля 4ЧН 11,0/12,5 с промежуточным охлаждением наддувочного воздуха при работе на природном газе путем снижения содержания оксидов азота в отработавших газах. Автореферат диссертации на соискание ученой степени кандидата технических наук/Санкт-Петербургский государственный аграрный университет. Санкт-Петербург, 2009. — 18 с.
23. Скрябин, М.Л. Разработка программы стендовых исследований газодизеля с промежуточным охлаждением наддувочного воздуха // Современная наука: актуальные проблемы и пути их решения. 2015. № 4 (17). с. 53–55.
24. Скрябин, М.Л. Особенности горения капли дизельного топлива в турбулентном потоке метано-воздушной смеси в цилиндре газодизеля // Современная наука: актуальные проблемы и пути их решения. 2015. № 4 (17). с. 56–59.
25. Скрябин, М.Л. Исследование мощностных и экономических показателей газодизеля с промежуточным охлаждением наддувочного воздуха // Современная наука: актуальные проблемы и пути их решения. 2015. № 4 (17). с. 59–62.
26. Скрябин, М.Л. Влияние угла опережения впрыскивания топлива на экологические показатели газодизеля с промежуточным охлаждением наддувочного воздуха // Современная наука: актуальные проблемы и пути их решения. 2015. № 4 (17). с. 62–65.
27. Лиханов, В.А. Улучшение эксплуатационных показателей тракторных дизелей путем применения альтернативных топлив. Автореферат диссертации на соискание ученой степени доктора технических наук/Санкт-Петербург, 1999.
28. Лиханов, В.А. Улучшение эксплуатационных показателей тракторных дизелей путем применения альтернативных топлив. Диссертация на соискание ученой степени доктора технических наук/Киров, 1999.
29. Лиханов, В.А., Попов В.М. Работа дизеля на метаноле с двойной системой топливоподачи // Двигателестроение. 1986. № 8. с. 47.

Процесс тестирования интегральных микросхем

Магеррамов Рафаэл Вагифович, студент

Национальный исследовательский университет «Московский институт электронной техники»

Нынешнее развитие микроэлектронных технологий обуславливается стремительными темпами роста. Динамическое развитие технологий требует от разработчика быть готовым к новым потребностям технологического рынка и разрабатывать все более совершенные и многофункциональные устройства. Поэтому, чем сложнее становится разрабатываемое устройство, тем жестче ста-

новятся требования к тестируемому оборудованию. Оно должно осуществлять тестирование, настройку и полноценный контроль будущих разработок.

Тестирование микросхем производится с помощью различных устройств и технологии, в зависимости от сложности и типа изготавливаемых микросхем. Тестирование позволяет провести разбраковку ИС, а именно:

- Провести функциональный контроль микросхем,
- Определить развивающиеся дефекты при изменении микросхем на пластине,
- Измерить электрические параметры микросхемы в составе пластин и в корпусном исполнении [1–4].

Методы технологического контроля микросхем

Во время создания микросхем наиболее важным аспектом является осуществление контроля технологических параметров. При успешной организации данного контроля, процент выхода годной продукции значительно увеличивается. Технологический контроль БИС и СБИС полностью зависит от процесса производства и состоит из измерений и визуальной проверки операций создания ИС. Можно выделить три группы методов производственного контроля микросхем [5,6]:

- Метод пооперационного контроля,
- Метод визуального контроля,
- Использование тестовых структур на подложке (пластине).

Метод пооперационного контроля

После таких производственных процессов микросхем как, эпитаксии и диффузии необходимо провести измерений толщин пленок, глубин р-п переходов, поверхностной концентрации и др. Данные замеры производиться на отдельных контрольных образцах.

Метод визуального контроля

Большой объём данных об изготавливаемой пластине можно получить в результате визуальной проверки, при этом возможно идентифицировать такие показатели, как состояние поверхности, избыточное или недостаточное травление, несоответствие толщины окисного слоя, корректность перехода и прочее.

Метод визуального контроля является, наверное, самым тривиальным методом из трех перечисленных, но, несмотря на свою простоту, играет важную роль в производстве и тестирование микросхем. Данный метод позволяет осуществить осмотр пластины под микроскопом с много кратным увеличением (от 80^x до 400^x) и использовать разнообразные средства визуализации для наблюдения термографии и других схожих процессов.

Существует многообразие дефектов, которым может быть подвержена изготавливаемая пластина. Наиболее серьезным и опасным дефектом является пористость окисного слоя, которую можно легко обнаружить во время визуальной проверки микросхемы на пластины под микроскопом. Пористость окисного слоя — это небольшие отверстия в окисном слое, которые были вызваны пылью при покрытии подложки фоторезистом, либо неисправностью самого фотошаблона. В случае если рассматриваемый дефект появиться в критической точке пластины, то последующая диффузия припая может служить замыканием перехода, а данный эффект может стать причиной выхода из строя всей микросхемы.

Для эффективной реализации визуального метода контроля микросхем является применение сканирующего электронного микроскопа, с помощью которого оператор может наблюдать топографический и электрический рельеф ИС. Данный метод позволяет с легкостью обнаружить загрязнение перехода, различные частицы пыли, дыры в окисном слое и небольшие повреждения на тонком слое металлизации.

Для выявления перегретых участков во время термических испытаний микросхем на пластине существует инфракрасный сканирующий микроскоп, который состоит из ИК-детектора с высокой разрешающей способностью, объединённый с особым записывающим устройством. Данное оборудование используется во время оценки качества конструкции пластины в отношении рассеяния тепла и мощности.

Метод использования тестовых структур на пластине

Интегральная микросхема состоит из большого количества сложных элементов, которые объединены между металлическими трассами, пересечения которых достигает несколько сотен и тысяч, помимо этого, пластина имеет огромное количество переходов с одного слоя на другой (контактные окна), выводы для активных и пассивных элементов, множество контактных площадок и прочее. В результате столь сложного расположения элементов и их трассировки, практически невозможен полный контроль всех элементов из-за высокой трудоемкости данной операции. Однако необходимость этой операции очевидна, особенно во время этапа усовершенствования технологии производства ИС.

Для осуществления контроля электрических параметров структур и качества реализации технологических операций используются особые тестовые микросхемы, размещаемые на пластине вместе с рабочими кристаллами. Тестовая микросхема изготавливается такому же маршруту, как и обычная микросхема на пластине, она содержит все составляющие элементы в определенном сочетании для обеспечения удобства контроля этих компонентов и произведения оценки качества технологического процесса. Благодаря последовательному или параллельному включению в электрическую цепь элементов контроля достигается удобство тестирования ИС.

Кроме тестовых микросхем контроль отдельно выбранных компонентов, а именно диодов и транзисторов, возможно, осуществить при помощи тестовых кристаллов. Данный кристаллы содержат в себе определенный набор изолированных элементов находящихся в интегральной микросхеме. Размеры тестового кристалла сопоставимы с размерами чипа на пластине. Использование такой технологии позволяет осуществить высокотехнологичный контроль производства ИС и уменьшить затраченное время и трудоемкость работа при проведении тестовых испытаний пластин.

На кремневой пластине тестовые полосы находятся между рабочими микросхемами. Перед началом тестирования микросхем на пластине, первым делом необходимо

провести контроль тестовых полос, а затем, следующим шагом при успешном прохождении контроля тестовых полос, следует приступать к измерениям микросхем. Данное расположение имеет несколько преимуществ, а именно более доступное контактирование для отдельных участков тестовых элементов и уменьшение вероятности повреждения микросхемы во время лазерного скрайбирования пластин (выполнения разделения элементов кремневой пластины, по заданному контуру) [7–11].

Виды и параметры контрольных испытаний микросхем

Осуществление тестирования и контроля ИС является неотъемлемой частью в их производстве и серийном изготовлении. К основным видам контрольных испытаний ИС можно отнести:

- Функциональный контроль
- Параметрический контроль
- Диагностический контроль

Функциональный контроль реализует проверку СБИС и БИС и основан на проведении статистических и динамических параметров микросхемы на базе контрольно-тестовой таблицей, составленной разработчиками микросхемы при помощи компьютеризированных технологий с учетом минимизации количества входных кодовых комбинаций.

Параметрический контроль микросхем предпочтительнее использовать для схем малой интеграции компонентов. Данный контроль основан на измерении базовых параметров микросхемы на постоянном токе и помимо этого включает в себя проведение проверки выполнения логических функций и измерение выходных электрических сигналов. Данный контроль имеет свой недостаток, с повышением степени интеграции компонентов схемы эффективность параметрического контроля уменьшается, в таком случае измерение времени нарастания и спада сигналов становится бессмысленным.

Диагностический контроль — это частный случай контроля микросхем, который наиболее эффективен при проведении тестирования гибридных ИС. Данный вид микросхем позволяет осуществить замену вышедших из строя элементов, находящихся на общей подложке.

Рассматривая отдельные виды технологического контроля, стоит обратить отдельное внимание на методы испытания ИС. В данном случае речь идет об измерении статистических и динамических параметров микросхемы.

К статическим параметрам можно отнести измерения уровней входных напряжений и токов, которые соответствуют логическим нулям и единицам, помехоустойчивость микросхемы, обусловленная сохранением верного состояния элементов схемы в условиях действия помех. Также, к статическим параметрам можно отнести мощность потребления схемы, коэффициент разветвления трасс по выходу, устанавливающий количество элементов, подключаемых к выходу без нарушения работоспособности

микросхемы. Быстродействие и помехоустойчивость микросхем описывается динамическими параметрами.

Оборудование и технологии проведения контроля ИС

Последней ступенью в создании полностью готового и адаптированного электронного продукта является серийное производство изделий. Перед тем, как запускать на конвейер только что полученные образцы, необходимо как следует осуществить их тестирование, и провести измерения необходимых параметров, заявленных в ГОСТе или же заказчиком микросхемы. Из этого следует вывод, что помимо разработки и создания ИС, важнейшую роль играет создание контрольно-диагностического стенда (КДС), который позволит провести полный контроль полученных изделий в соответствии с техническим заданием.

С возрастанием функциональной сложности микросхем увеличивается трудоемкость операций тестирования их параметров. На сегодняшний момент практически невозможно осуществить проверку интегральных микросхем не используя при этом автоматизированные контрольно-измерительные стенды.

Процесс измерения параметров микросхем с помощью измерительного стенда

Измерение и тестирование микросхем на производстве практически невозможно без автоматизации процесса измерений и управления ходом эксперимента из-за необходимости выполнения очень большого количества операций в нужной последовательности. Традиционный подход к проведению сложных тестов включает в себя использование дорогостоящих и сложных программных комплексов. Кроме освоения работы в программной среде, необходимо иметь специальные драйвера всех устройств, входящих в измерительный стенд, или использовать дорогие измерительные комплексы со встроенной поддержкой программ сбора данных, автоматизации измерений, обработки и визуализации результатов.

В настоящее время широкое распространение получили стенды на основе модульного, программируемого измерительного оборудования, которые позволяют создать гибкую систему, способную в сжатые сроки паспортизировать большое количество микросхем. Преимуществом такого КДС (контрольно-диагностический стенд) перед обычным стендом, включающим в себя набор отдельных приборов, является то, что необработанные данные, получаемые от аппаратных средств, становятся полностью доступными для пользователя, и он может реализовать свои собственные функции измерений, свой пользовательский интерфейс. С таким программно-ориентированным подходом пользователи могут выполнять нестандартные измерения, измерения в соответствии с развивающимися стандартами, или же модифицировать систему при необходимости (например, добавлять приборы, каналы или измерительные функции) [20].

Литература:

1. Евтушенко, Н., Немудров В. Методология проектирования систем на кристалле, основные принципы, методы, программные средства // Электроника. 2003. С. 52–74.
2. Бобков, С.Г., Евлампиев Б.Е. Схема тестирования высокочастотных блоков однокристалльного графического контроллера. Научная сессия МИФИ 2003 // Сборник научных трудов. В 14 томах. Том 1. Автоматика. Электроника. Электронные измерительные системы. 2003. с. 173–174.
3. Аряшев, С.И., Бобков С.Г. Разработка микросхемы графического ускорителя с использованием ПЛИС FPGA Altera. 3-я научно-техническая конференция // Электроника, микро- и нанoeлектроника. Сборник научных трудов/Под ред. В.Я. Стенина. 2001. с. 28–33.
4. Бобков, С.Г., Евлампиев Б.Е. Разработка методик проектирования быстродействующих СБИС со сложной структурой класса микросхем графического контроллера // Информационные технологии и вычислительные системы. 2005. с. 88–104.
5. Бобков, С.Г. Евлампиев Б.Е., Сидоров А.Ю. Блок самотестирования внутренней памяти. 1-я Всероссийская научно-техническая конференция // Проблемы разработки перспективных микроэлектронных систем. Сборник научных трудов под общ. ред. А.Л. Стемповского. — М.:ИППИМ РАН. 2005. с. 222–228.
6. Буренков, В.С., Тимин Л.С. Применение скан-технологии для обеспечения контролепригодности СБИС // Схемотехника и нанoeлектроника. 2007. с. 50.
7. Малышева, И.А. Технология производства интегральных микросхем // Микроэлектроника. — 2001. с. 47–85.
8. Курносоев, А.И. Технология производства полупроводниковых приборов и интегральных микросхем // Микроэлектроника. — 2003 с. 95–140.
9. Модульные измерительные системы для автоматизированных испытаний // журнал контрольно-измерительные приборы и системы № 4, 2010. — С. 25
10. Herer, Y., Raz T. IIE Transactions on Quality and Reliability // Springer Science Media. — 2003. P. 529–540.
11. Данилина, Т.И., Кагадей В.А. Технология СБИС // учебное пособие. — 2007. С. 56–87.
12. ГОСТ 22261–94 Средства измерений электрических и магнитных величин. Общие технические условия.
13. Чумаков, А.И. Прогнозирование локальных радиационных эффектов в ИС при воздействии факторов космического пространства // Микроэлектроника, 2010, том 39, № 2, с. 85–90.
14. Марцинкявичус, А., Багданскис К. Быстродействующие интегральные микросхемы ЦАП и АЦП и измерения их параметров // Наноиндустрия. — 2008. с. 12–24, 100–162
15. Кудинов, А.К. Основы микропроцессорной техники // Микроэлектроника — 2004 с. 210–212
16. Аванесян, Г.Р., Левшин В.П. Интегральные микросхемы // Схемотехника. — 2003. с. 152.
17. Mathivanan, N. PC-BASED INSTRUMENTATION // Concepts and practice 2007. P. 522–600.
18. Сницар, В.Г., Федоров Р.А. Микросхема управления модулем радиационной защиты // Петербургский журнал электроники, № 3, 2011. с. 109–118.
19. Сауров, А.Н. Мир материалов и технологий // Справочник Шпингера по нанотехнологиям. — 2007. том 2 С. 56–83.
20. Сауров, А., Чаплыгин Ю. Выставка «Электроника 2012» // Наноиндустрия. — 2013 № 39. с. 18–23.

Исследование процессов распространения и горения водорода в герметичных помещениях энергоблока ВВЭР-440 в случае тяжелой аварии

Оганесян Оганес Альбертович, аспирант
Национальный политехнический университет Армении (г. Ереван)

На примере Арм. АЭС исследованы процессы накопления водорода в случае тяжелой аварии. Определено влияние внедрения каталитических рекомбинаторов водорода (КРВ) и уставки автоматического отключения спринклерной системы на концентрацию водорода в герметичных помещениях АЭС. Показано, что установка КРВ и внедрение уставки приводит к значительному снижению риска детонации водорода.

Ключевые слова: безопасность атомных станций, водород, каталитический рекомбинатор водорода, спринклерная система.

Введение. В свете последних событий на АЭС «Фукусима» проблема накопления водорода в герметичных помещениях стала одним из ключевых аспектов исследований, связанных с моделированием и управлением тяжелых аварий на АЭС.

Крупные аварии, сопровождающиеся расплавлением активной зоны, ведут к выделению водорода, образующегося, в частности, по причине пароциркониевой реакции при окислении топливной оболочки. Анализ последовательности аварии на АЭС «Фукусима» показал, что выделение водорода в герметичных помещениях привело к возгоранию и взрыву и, как следствие, к потере последнего барьера на пути распространения радиоактивных веществ.

В настоящее время на ААЭС планируется значительно повысить уровень водородной безопасности герметичных помещений. С этой целью намечается установка КРВ, внедрение уставки автоматического отключения спринклерной системы и повышение плотности герметичных помещений.

В частности, КРВ, установленные внутри защитной оболочки АЭС, позволяют значительно уменьшить накопление водорода, которое может иметь место при возможной аварии с расплавлением активной зоны. Пластины каталитического преобразователя водорода, покрытые платиной и палладием, ускоряют реакцию взаимодействия водорода с кислородом воздуха с образованием воды. Выявлено, что рекомбинатор эффективно действует в атмосфере, содержащей, кроме водорода, кислорода и паров воды, продукты, выделяющиеся при аварии в защитную оболочку в виде газов и аэрозолей. Что касается внедрения уставки автоматического отключения спринклерной системы, в настоящий момент такая уставка на ААЭС отсутствует, из-за чего система непрерывно конденсирует пар. Непрерывная конденсация пара способствует понижению давления в герметичных помещениях ниже атмосферного и увеличению концентрации кислорода вследствие притока воздуха из атмосферы через неплотности указанных помещений. Кроме того, длительная и непрерывная работа спринклерной системы приводит к сильному разрежению в герметичных помещениях, что может вызвать разрушение конструкций.

Исходя из значимости указанных модернизаций, с точки зрения безопасности ААЭС, целью данной работы является исследование влияния возможного внедрения уставки автоматического отключения спринклерной системы и установки КРВ на процессы накопления и распространения водорода в герметичных помещениях 2-го блока ААЭС.

Для исследования была выбрана авария с разрывом дыхательной трубки компенсатора давления эквивалентным диаметром 200 мм, которая является запроектной для ААЭС. Выбор данного аварийного сценария обусловлен тем, что в настоящий момент ААЭС поставила целью увеличение предела максимальной проектной аварии до разрыва с эквивалентным диаметром 200 мм. Для достижения указанной цели были проведены анализы для следующих вариантов конфигураций герметичных помещений:

- вариант 1 с фактической конфигурацией герметичных помещений;
- вариант 2 с учетом установки КРВ;
- вариант 3 с учетом установки КРВ и внедрения уставки автоматического отключения спринклерной системы.

Методика расчетов. С целью проведения расчетов была разработана схема герметичных помещений ААЭС для кода СОСОСЫС [1, 2]. Помещения были смоделированы при помощи 23-х узлов, соединенных между собой 54 атмосферными и дренажными соединениями. Для моделирования облицовки стен помещений были использованы 53 тепловые структуры. Также была смоделирована работа спринклерной системы, взрывных клапанов герметичных помещений и каталитических рекомбинаторов водорода (рис. 1).

Основываясь на консервативном подходе, выбраны начальные и граничные условия в герметичных помещениях ААЭС. Начальная температура атмосферы принята равной 70 °С в шахте реактора и 65 °С — во всех других герметичных помещениях. Начальная температура в окружающей среде принята равной 20 °С. Давление принято равным 100 кПа во всех герметичных помещениях и в окружающей среде. Начальная атмосфера

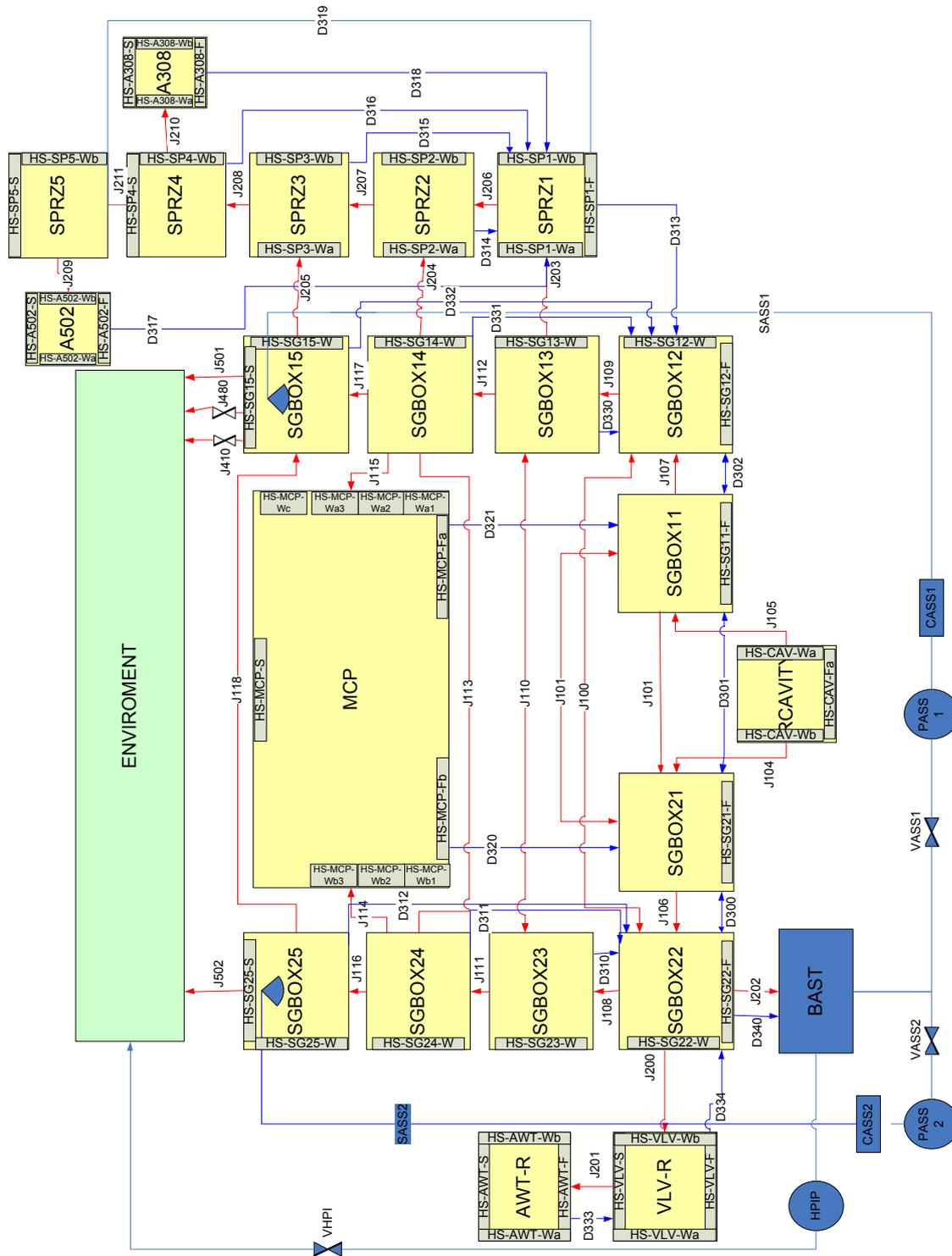


Рис. 1. Расчетная схема герметичных помещений 2-го блока ААЗ

определена как состоящая из азота и кислорода в соответствии с природным составом (79 и 21 % соответственно).

Для расчетов была выбрана тяжелая авария с разрывом дыхательной трубки компенсатора давления эквивалентным диаметром 200 мм и неработоспособной системой аварийных питательных насосов (АПН).

Консервативно принято, что система АПН неработоспособна. Также принято, что два насоса спринклерной системы работоспособны, поскольку работа двух насосов приведет к увеличению конденсации пара, а также повышению вероятности возгорания водорода по причине высокой концентрации кислорода.

Выбросы энергии и массы для данной аварии были рассчитаны при помощи кода MELCOR [3]. Расчеты проводились до 65000 секунд. Расчеты взаимодействия расплавленной активной зоны и бетона шахты реактора проводились при помощи кода MEDICIS [4].

Моделирование процессов накопления водорода.

Для расчета потоков газа через атмосферные соединения используется следующее уравнение, основанное на законе сохранения импульса:

$$G_j = \frac{A_j}{l_j} \{ (p_{js} - p_{jt}) + w_j - K_j G_j |G_j| \},$$

где индекс s показывает исходную зону, а индекс t — целевую зону соединения j ; G ($\text{м}^3/\text{с}$) — расход газа с весом w (кг) через соединение длиной l м, площадью сечения A (м^2) и гидравлическим сопротивлением K . Отношение $p_{js} - p_{jt}$ показывает разницу давлений в соединении.

Вес столба газа в соединении рассчитывается по уравнению

$$w_j = \rho_j g (h_{js} - h_{jt}),$$

где ρ_j — средняя плотность газа в соединении, а отношение $h_{js} - h_{jt}$ показывает разницу высот между исходной и конечной зонами.

Кроме того, в расчетах учитывалась диффузия газов:

$$G_{diff} = \frac{DA_j}{l_j} RT (p_{js} - p_{jt}),$$

где D — коэффициент диффузии газа в воздухе.

Интерпретация результатов расчета. Течение тяжелой аварии с плавлением активной зоны можно разделить на две временные фазы — внутрикорпусную и внекорпусную. Внутрикорпусная фаза характеризуется оголением и нагревом активной зоны, а также плавлением конструкций с относительно низкой температурой плавления (оболочек ТВЭЛ, поглотителей) с последующим плавлением керамических топливных таблеток, формированием расплавленной массы, перемещением расплава в нижнюю часть реактора и повреждением корпуса реактора. Внекорпусная фаза характеризуется перемещением расплава в шахту реактора и началом взаимодействия расплавленной массы и бетона шахты реактора. В данной работе было в полной мере исследовано течение обеих фаз.

В первом варианте рассмотрена фактическая конфигурация герметичных помещений. Уже после 825-й секунды с начала аварии комбинация концентраций водорода и кислорода в атмосфере герметичных помещений удовлетворяла параметрам возгорания (рис. 2: I — возгорание, II — дефлаграция, III — детонация).

Как видно из графиков, к началу внекорпусной фазы концентрации водорода и кислорода удовлетворяют параметрам детонации. Однако к концу внекорпусной фазы кислород, необходимый для горения, вытесняется водородом, который генерируется вследствие взаимодействия расплавленной массы и бетона шахты реактора.

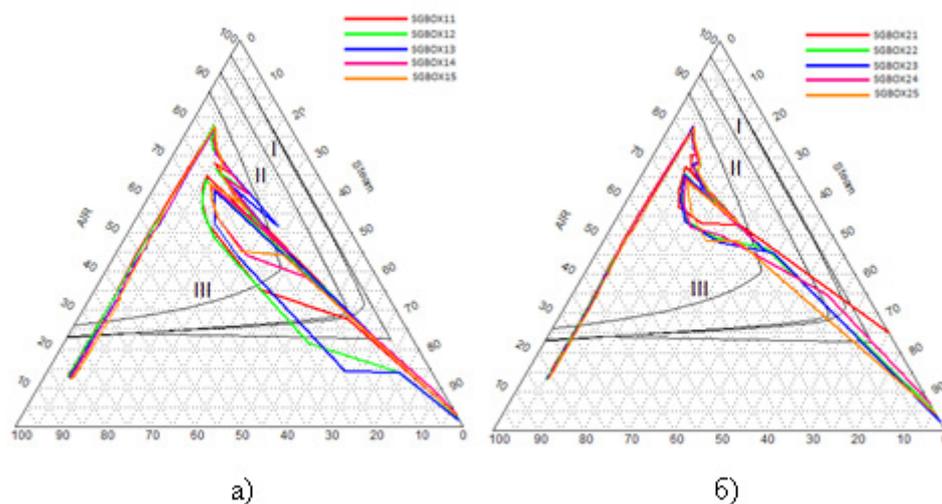
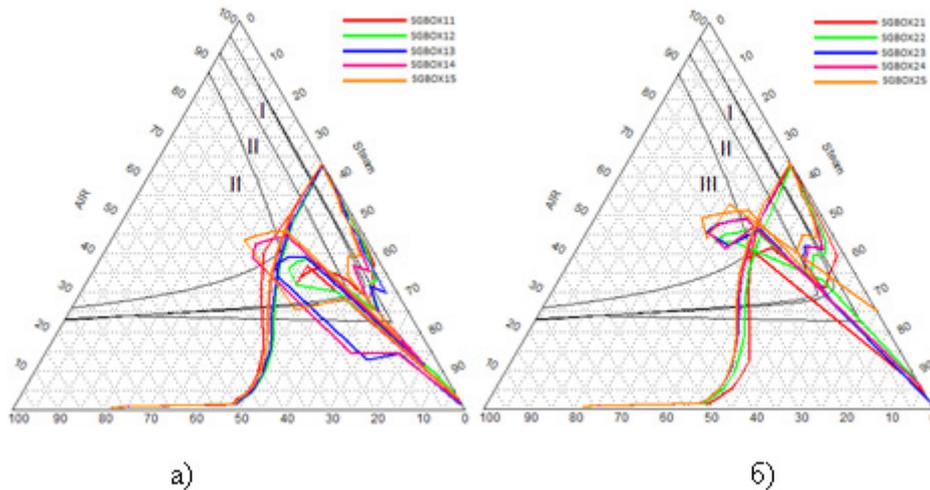


Рис. 2. Комбинация концентраций водорода и кислорода (вариант 1):

а — в верхней части герметичных помещений, б — в нижней части герметичных помещений



**Рис. 3. Комбинация концентраций водорода и кислорода (вариант 2):
а — в верхней части герметичных помещений, б — в нижней части герметичных помещений**

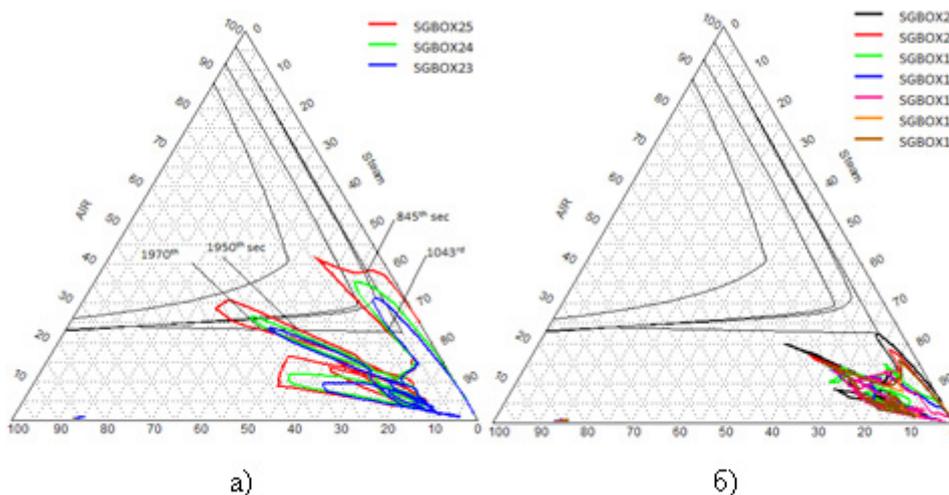
Во втором варианте была рассмотрена конфигурация герметичных помещений с учетом установки КРВ. Как показали расчеты, установка каталитических рекомбинаторов водорода значительно снижает риск детонации, однако все еще существует риск дефлаграции водорода, так как разрежение в герметичных помещениях, создаваемое непрерывно работающей спринклерной системой, способствует притоку кислорода (рис. 3).

В третьем варианте рассмотрена возможность внедрения уставки автоматического отключения спринклерной системы. Как показали результаты, внедрение уставки автоматического отключения позволяет удерживать давление в герметичных помещениях на уровне атмосферного, что предотвращает приток большого количества кислорода, необходимого для возгорания, в герметичные

помещения. Вследствие этого комбинация концентраций водорода и кислорода в атмосфере герметичных помещений удовлетворяла параметрам возгорания только в трех узлах модели с 845-й секунды до 1043-й секунды и с 1950-й секунды до 2193-й секунды (рис. 4).

Необходимо отметить также, что в расчетах не было смоделировано уменьшение количества водорода вследствие горения, и имеется вероятность, что горение водорода в указанных выше временных отрезках снизит концентрацию водорода и предотвратит дефлаграцию.

Закключение. В результате исследования были получены данные о поведении водорода в герметичных помещениях при тяжелых авариях. Показана эффективность влияния установки КРВ и внедрения уставки автоматического отключения спринклерной системы на процессы



**Рис. 4. Комбинация концентраций водорода и кислорода (вариант 3):
а — в узлах модели, где возможно возгорание, б — в остальных узлах**

накопления водорода в герметичных помещениях. Полученные данные позволяют сделать следующие выводы:

- на ААЭС существует опасность возгорания водорода при тяжелых авариях с плавлением топлива;
- в варианте с фактической конфигурацией герметичных помещений уже после 825-й секунды с начала аварии комбинация концентраций водорода и кислорода в атмосфере герметичных помещений удовлетворяет параметрам возгорания;

— установка каталитических рекомбинаторов водорода значительно снижает риск детонации, однако все еще существует риск дефлаграции водорода, так как разрежение в герметичных помещениях, создаваемое непрерывно работающей спринклерной системой, способствует притоку кислорода;

— внедрение уставки отключения спринклерной системы приводит к значительному снижению риска возгорания водорода.

Литература:

1. COCOSYS V1.2 User's Manual/W. Klein-Heßling, S. Arndt, G. Weber, et al; Gesellschaft für Anlagen- und Reaktorsicherheit (GRS). — July, 2000. — 576 p.
2. Malakyan Ts., Hovhannisyan H. Investigation of ANPP confinement response to BDBA (LOCA DN200) taking into account hydrogen safety: RT-GRS-01/09 — A4-A6-001, NRSC. — December, 2011. — 124 p.
3. Malakyan Ts., Amirjanyan A. Analysis of pressurizer surge line break with ECCS failure for the Armenian NPP: NRSC-DTI-A21-01, NRSC. — 2005. — 183 p.
4. Spengler Claus, COCOSYS/MEDICIS calculation for ANPP/Gesellschaft für Anlagen- und Reaktorsicherheit (GRS). — 2010. — 73 p.

К решению краевых задач пространственных стержней при переменных упруго-пластических нагружениях

Олимов Муродилла, кандидат физико-математических наук, доцент;
 Каримов Пазлитдин, кандидат технических наук, доцент;
 Исмоилов Шохимардон Мухаммаджонович, ассистент
 Наманганский инженерно-педагогический институт (Узбекистан)

На основе теории малых упруго-пластических деформаций сформулированы краевые задачи пространственных стержней при повторных и переменных нагружениях. Исследована сходимость реализованных алгоритмов.

Ключевые слова: Система дифференциальных уравнений, метод Канторович-Власова, упруго-пластическая деформация, центральная конечная разность.

Marginal problems spatial pegs are worded on base of the theories small springy-plastic deformation under the repeated and variable load. Explored convergence marketed algorithm.

На основе теории малых упруго-пластических деформаций [1] и гипотезы, предложенной В. З. Власовым, Г. Ю. Джанелидзе и В. К. Кабуловым в данной работе исследуются напряженно-деформированные состояния стержней пространственным нагружённые с учетом пластических деформаций.

Система дифференциальных уравнений для пространственного стержня прямоугольного сечения при повторно-переменном упруго-пластическом нагружении описывается следующим образом [1,4]:

$$\begin{aligned} & \frac{d}{dx} \left[(A^{up} - A^{pl(k)}) \frac{d\vec{V}^{(k)}}{dx} + (B^{up} - B^{pl(k)}) \vec{V}^{(k)} \right] + (C^{up} + C^{pl(k)}) \frac{d\vec{V}^{(k)}}{dx} + (D^{up} - D^{pl(k)}) \vec{V}^{(k)} = \\ & = Q^{(2)} + \frac{d}{dx} \left[A^{pl(k)} \frac{d\vec{V}^{o(k-1)}}{dx} + B^{pl(k)} \vec{V}^{o(k-1)} \right] + C^{pl(k)} \frac{d\vec{V}^{o(k-1)}}{dx} + D^{pl(k)} \vec{V}^{o(k-1)} + \sum_{m=1}^{k-1} \frac{d}{dx} \left[A^{pl0(k-m)} \frac{d}{dx} \right. \\ & \left. (\vec{V}^{o(k-m)} + \vec{V}^{o(k-m-1)}) + B^{plo(k-m)} (\vec{V}^{o(k-m)} + \vec{V}^{o(k-m-1)}) \right] + C^{plo(1)} \frac{d}{dx} (\vec{V}^{o(k-m)} + \vec{V}^{o(k-m-1)}) + \end{aligned}$$

$$+ D^{plo(k-m)} (\vec{V}^{o(k-m)} - \vec{V}^{o(k-m-1)}) \tag{1}$$

где

$$\vec{V}^{(k)} = \{u^{(k)}, \alpha_1^{(k)}, \alpha_2^{(k)}, w^{(k)}, \theta^{(k)}, \varrho^{(k)}\}, \vec{V}^{o(k-m)} = \{u^{o(k-m)}, \alpha_1^{o(k-m)}, \alpha_2^{o(k-m)}, w^{o(k-m)}, \theta^{o(k-m)}, \varrho^{o(k-m)}\}$$

Здесь k – число нагружений ($k = 1, 2, 3, \dots$; $m = 1, 2, 3, \dots, k-1$); $\vec{V}^{0(0)} = 0$; $\vec{V}^{0(1)}$ соответствует значению $\vec{V}^{(1)}$ в точке N (Рис.1)

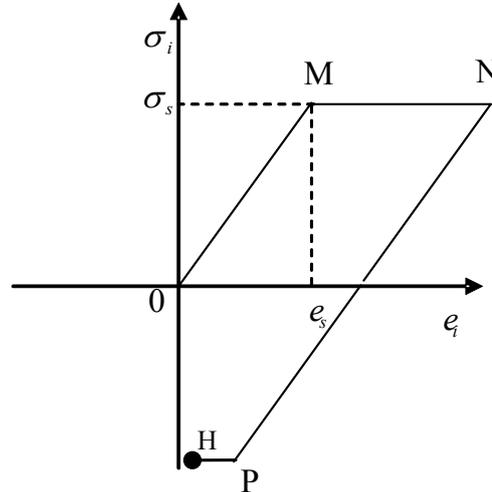


Рис.1

Коэффициенты векторного уравнения (1) определяются по следующим формулам. [1,2]:

$$a_{11}^{up} = \frac{l^2 * F}{J_0}, a_{11}^{pl(k)} = \frac{l^2 * F_{\omega}^{(k)}}{J_0}, a_{11}^{o(k-m)} = \frac{l^2 * F_{\omega}^{o(k-m)}}{J_0},$$

$$a_{22}^{up} = \frac{J_y}{J_0}, a_{22}^{pl(k)} = \frac{J_{y\omega}^{(k)}}{J_0}, a_{22}^{o(k-m)} = -\frac{J_{y\omega}^{o(k-m)}}{J_0},$$

$$a_{33}^{up} = \frac{J_z}{J_0}, a_{33}^{pl(k)} = \frac{J_{z\omega}^{(k)}}{J_0}, a_{33}^{o(k-m)} = -\frac{J_{zy\omega}^{o(k-m)}}{J_0},$$

$$a_{44}^{up} = \frac{l^2 F}{2J_0}, a_{44}^{pl(k)} = \frac{l^2 F_{\omega}^{(k)}}{2J_0}, a_{44}^{o(k-m)} = \frac{l^2 F_{\omega}^{o(k-m)}}{2J_0},$$

$$a_{55}^{up} = \frac{l^2}{2h_0^2 J_0} (J_y + J_z), a_{55}^{pl(k)} = \frac{l^2}{2h_0^2 J_0} (J_{y\omega}^{(k)} + J_{z\omega}^{(k)}), a_{55}^{o(k-m)} = \frac{l^2 F_{\omega}^{o(k-m)}}{2h_0^2 J_0} (J_{y\omega}^{o(k-m)} + J_{z\omega}^{o(k-m)}),$$

$$a_{66}^{up} = \frac{l^2 F}{2J_0}, a_{66}^{pl(k)} = \frac{l^2 F_{\omega}^{(k)}}{2J_0}, a_{66}^{o(k-m)} = \frac{l^2 F_{\omega}^{o(k-m)}}{2J_0}$$

$$b_{42}^{up} = -\frac{l^2 F}{2J_0}, b_{42}^{pl(k)} = \frac{l^2 F_{\omega}^{(k)}}{2J_0}, b_{42}^{o(k-m)} = \frac{l^2 F_{\omega}^{o(k-m)}}{2J_0}$$

$$d_{22}^{up} = \frac{l^2 F}{2J_0}, d_{22}^{pl(k)} = \frac{l^2 F_{\omega}^{(k)}}{2J_0}, d_{22}^{o(k-m)} = \frac{l^2 F_{\omega}^{o(k-m)}}{2J_0}$$

$$d_{33}^{up} = \frac{l^2 F}{2J_0}, d_{33}^{pl(k)} = \frac{l^2 F_{\omega}^{(k)}}{2J_0}, d_{33}^{o(k-m)} = \frac{l^2 F_{\omega}^{o(k-m)}}{2J_0}$$

Здесь

$$F = \iint_s ds, F_\omega^{(k)} = \iint_s \omega^{(k)} ds, F_\omega^{o(k-m)} = \iint_s \omega^{o(k-m)} ds$$

$$J_y = \iint_s z^2 ds, J_{y\omega}^{(k)} = \iint_s \omega^{(k)} z^2 ds, J_\omega^{o(k-m)} = \iint_s z^2 \omega^{o(k-m)} ds$$

$$J_z = \iint_s y^2 ds, J_{z\omega}^{(k)} = \iint_s \omega^{(k)} y^2 ds, J_{z\omega}^{o(k-m)} = \iint_s \omega^{o(k-m)} y^2 ds$$

Подынтегральная функция $\omega^{(k)}$ при $k = 1$ имеет вид [2,3,4]:

$$\omega = \begin{cases} 0, & e_1 < 1 \\ \lambda(1 - \frac{1}{e_1}), & e_1 \geq 1 \end{cases}$$

И при $k \geq 2$

$$\omega^{(k)} = \begin{cases} 0, & \text{при четном } k \quad e_1^{o(k-1)} - 2 < e_1^{(k)} < e_1^{o(k-1)} \\ \text{нечетном } k \quad e_1^{o(k-1)} < e_1^{(k)} < e_1^{o(k-1)} + 2 \\ \lambda(1 - \frac{1}{|e_1^{o(k-1)} - e_1^{(k)}|}), & \begin{cases} \text{при четном } k \quad e_1^{o(k-1)} - 2 \geq e_1^{(k)} \\ \text{нечетном } k \quad e_1^{o(k-1)} + 2 \leq e_1^{(k)} \end{cases} \end{cases}$$

Здесь, $e_1^k = \frac{e_i^k}{e_s}$, $k = 1, 2, \dots$; $e_1^{o(1)}, \omega^{o(1)}$ соответствуют значениям e_1, ω в точки N , а $e_1^{o(2)}, \omega^{o(2)}$ — значениям $e_1^{(2)}, \omega^{(2)}$ в точки R (Рис.1)

Приведенное векторное дифференциальное уравнение (1) решается при граничных условиях: (один конец стержня зашкелен, а другой нагружен сосредоточенной массой):

При $x=0$

$$\vec{V}^{(k)} \Big|_{x=0} = 0 \tag{2}$$

При $x = 1$

$$\left[-(A^{up} - A^{pl(k)}) \frac{d\vec{V}^{(k)}}{dx} - (B^{up} - B^{pl(k)}) \vec{V}^{(k)} \right] \Big|_{x=1} = \vec{F}^{(k)} \tag{3}$$

Где

$$\vec{F}^{(k)} = \{ \varphi_i^{(k)} \}, \quad i = 1, 2, \dots, 6;$$

При четном k

$$\varphi_1^{(k)} = f_1^{(k)} * \cos[\gamma + (2k - 1)\pi],$$

$$\varphi_2^{(k)} = -f_1^{(k)} \cdot e_1 \cdot \cos[\gamma + (2 \cdot k - 1)\pi] + f_1^{(k)} d \cdot \sin[\gamma + (2k - 1)\pi] \sin \alpha,$$

$$\varphi_3^{(k)} = -f^{(k)} \cdot e \cdot \cos[\gamma + (2 \cdot k - 1)\pi] + f_1^{(k)} d \cdot \sin[\gamma + (2k - 1)\pi] \cos \alpha,$$

$$\varphi_4^{(k)} = f^{(k)} \sin[\gamma + (2 \cdot k - 1)\pi] \cdot \sin \alpha,$$

$$\varphi_5^{(k)} = f_1^{(k)} \sin[\gamma + (2 \cdot k - 1)\pi] (e_2 \cdot \cos \alpha + e_1 \sin \alpha),$$

$$\varphi_6^{(k)} = f_1^{(k)} \sin[\gamma + (2 \cdot k - 1)\pi] \cdot \cos \alpha,$$

При нечетном

$$\begin{aligned} \varphi_1^{(k)} &= f_1^{(k)} \cos[\gamma + 2 \cdot k\pi], \\ \varphi_2^{(k)} &= -f_1^{(k)} \cdot [e_1 \cdot \cos(\gamma + 2 \cdot k\pi) + d \cdot \sin(\gamma + 2k\pi) \cdot \sin \alpha], \\ \varphi_3^{(k)} &= -f_1^{(k)} \cdot [e_1 \cdot \cos(\gamma + 2 \cdot k\pi) - d \cdot \sin(\gamma + 2k\pi) \cdot \cos \alpha], \\ \varphi_4^{(k)} &= f_1^{(k)} \cdot \sin(\gamma + 2k\pi) \cdot \sin \alpha, \\ \varphi_5^{(k)} &= f_1^{(k)} \cdot \sin(\gamma + 2k\pi)(e_2 \cos(\alpha) + e_1 \sin \alpha), \\ \varphi_6^{(k)} &= f_1^{(k)} \cdot \sin(\gamma + 2k\pi) \cos(\alpha), \end{aligned}$$

В векторном уравнении (1) внешние нагрузки имеют вид

$$\begin{aligned} q_2^{(k)} &= f_1^{(k)} \{ (l - x - d) \cdot \sin(\gamma + (2k - 1)\pi) \cdot \sin \alpha - \bar{l}_1 \cdot \cos(\gamma + (2k - 1)\pi) \} \\ q_3^{(k)} &= f_1^{(k)} \{ (d + l - d) \cdot \sin(\gamma + (2k - 1)\pi) \cdot \cos \alpha - \bar{l}_1 \cdot \cos(\gamma + (2k - 1)\pi) \} \end{aligned}$$

При нечетном k и

$$\begin{aligned} q_2^{(k)} &= f_1^{(k)} \{ (l - x - d) \cdot \sin(\gamma + 2k\pi) \cdot \sin \alpha - \bar{l}_1 \cdot \cos(\gamma + 2k\pi) \} \\ q_3^{(k)} &= f_1^{(k)} \{ (d + l - x) \cdot \sin(\gamma + 2k\pi) \cdot \cos \alpha - \bar{l}_1 \cdot \cos(\gamma + 2k\pi) \} \end{aligned}$$

Пользуясь центральными конечно-разностными соотношениями, аппроксимируем производные с точностью второго порядка в области $G_h = \{x_i = ih, \quad i = 1, 2, \dots, N - 1\}$ ($h = 1/N$), из векторного уравнения (1) и граничных условий (2), (3) получим систему нелинейных алгебраических уравнений [4]:

$$(A_i^{up} - A_i^{pl(k)})\vec{V}_{i+1}^{(k)} + (B_i^{up} - B_i^{pl(k)})\vec{V}_i^{(k)} + (C_i^{up} - C_i^{pl(k)})\vec{V}_{i-1}^{(k)} = Q^{(k)} + Q_1^{pl} + Q_1^{pl0} \quad (4)$$

$i = 1, 2, \dots, N - 1.$

если

$$i = 0 \text{ то}$$

$$\vec{V}_0^{(k)} = 0 \quad (5)$$

Если $i = N$ то

$$(\bar{A}_N^{up} - \bar{A}_N^{pl(k)})\vec{V}_N^{(k)} + (\bar{B}_N^{up} - \bar{B}_N^{pl(k)})\vec{V}_{N-1}^{(k)} + (\bar{C}_N^{up} - \bar{C}_N^{pl(k)})\vec{V}_{N-2}^{(k)} = \bar{F}_N^{(k)} \quad (6)$$

Алгоритм вычисления функции пластичности $\omega^{(k)}$ и вектор функции $\vec{Q}_1^{pl}, \vec{Q}_1^{pl0}$ подробно описаны в работах [2,4].

Для решения поставленной задачи (4)-(6) применяем метод матричной прогонки с учетом простой итерации.

Процесс итерации прекращается при выполнении условия.

$$|\vec{V}_i^{(k, \bar{e}+1)} - \vec{V}_i^{(k, \bar{e})}| < \varepsilon |\vec{V}_i^{(k, \bar{e}+1)}|$$

Где

\bar{e} - число итерации

k - число нагруженных

ε - точность вычисления

Для реализации разработанного алгоритма составлена модифицированная программа на объектно-ориентированном языке Delphi

$$e_s = 0,0015; \quad A = 2 * 10^6 \quad \tilde{e}\tilde{\alpha} / \tilde{n}\tilde{\iota}^2; \quad h_0 = b_0 = 10 \tilde{n}\tilde{\iota}; \quad \bar{e}_1 = 5 \tilde{n}\tilde{\iota}; \quad l = 300 \tilde{n}\tilde{\iota}; \quad \lambda = 0.25;$$

$$\pi = 3.141592653558379; \quad d = 20 \tilde{n}\tilde{\iota}; \quad l_2 = 0.$$

Цель задач — исследование численной сходимости. Поэтому в таблице приводятся экстремальные значения решения краевых задач и расчетных величин, полученных при переменных нагруженных. Для исследования численной задач решается с разным количеством узла сетки

Анализ результатов показывает, что полученные значения параметров на каждом упруго-пластическом нагруженном.

$W^{(k)}$				$Q_1^{(k)}$			
N=50	N=90	N=100	N=110	N=50	N=90	N=100	N=110
-0.04770	-0.04055	-0.03927	-0.03859	15844122.9	27314428.5	29990939.0	32613261.5
0.04696	0.03736	0.03582	0.03453	-15148820.2	-27326818.0	-30722581.4	-34126317.1
-0.04702	-0.03752	-0.03598	-0.03470	15138710.3	27305817.0	30710240.3	34113215.3
0.04701	0.03751	0.03597	0.034469	-1513712.2	-27304817.1	-30710130.2	-34112213.1
$\alpha_1^{(k)}$				$M_y^{(k)}$			
-0.09981	-0.08993	-0.08845	-0.08724	-33059.2	-32494.6	-32394.8	-32310.5
0.09868	0.08544	0.08327	0.088145	31169.77	30426.80	30310.80	30213.58
-0.09878	-0.08569	-0.08353	-0.08171	-31056.71	-30414.70	-30383.81	-30298.91
0.09876	0.08567	0.08351	0.08170	31045.78	30413.81	30301.70	30288.92
$\vartheta^{(k)}$				$Q_2^{(k)}$			
0.07075	0.07822	0.07931	0.08020	-11600207.1	-26190916	-27215410	-28233232
-0.07178	-0.08140	-0.08294	-0.08422	10803681.1	14757449.6	15831598.5	16901916.3
0.07173	0.08123	0.08277	0.08405	-10812581.2	-14743421.3	-15821620.1	-16901711.3
-0.07174	-0.08124	-0.8227	-0.08406	10811471.5	14742421.3	15832177.3	16900721.5
$\alpha_2^{(k)}$				$M_z^{(k)}$			
0.13303	0.14492	0.14666	0.14808	44801.76	51346.78	52254.51	52980.39
-0.13474	-0.14979	-0.15218	-0.15418	-43547.32	-51473.64	-52745.81	-53806.67
0.13463	0.14952	0.15191	0.15391	43701.30	51335.62	52244.51	53814.52
-0.13466	-0.14955	-0.15193	-0.15393	-43711.40	-51463.54	-52795.71	-53813.51
$\theta^{(k)}$				$M_x^{(k)}$			
-0.000146	-0.000147	-0.0001472	-0.000147	-2006.3	-2752.7	-2924.7	-3093.8
0.000146	0.000147	0.0001474	0.000147	2616.0	3770.1	4034.4	4287.8
-0.000146	-0.000147	-0.0001474	-0.000147	-2617.1	-3770.1	-4032.3	-4286.8
0.000146	0.000147	0.0001474	0.000147	2618.2	3770.1	4031.3	4285.8
$\omega^{(k)}$				$e_1^{(k)}$			
0.80942	0.80001	0.798486	0.797222	6.7581	6.3340	6.2700	6.2181
0.76161	0.76530	0.7658314	0.766265	5.0429	5.1435	5.1558	5.1704
0.76202	0.76591	0.7664998	0.766978	5.0537	5.1600	5.1771	5.1906
0.76201	0.76581	0.7664720	0.766950	5.0535	5.1600	5.1763	5.1898

При $N = 50.90$; перемещения $W^{(k)}, v^{(k)}$; углы поворота $\alpha_1^{(k)}, \alpha_2^{(k)}$; изгибающий момент $M_y^{(k)}$ и поперечное усилие $Q_2^{(k)}$ совпадают до одного знака точности, угол закручивания $Q^{(k)}$ — до двух-трех знаков.

Крутящий $M_x^{(k)}$ и изгибающий моменты $M_z^{(k)}$, а также поперечное усилие $Q_1^{(k)}$ в данном количестве узлов сетки не имеют сходимости. Далее увеличение шага сетки приводит к улучшению сходимости указанных параметров. Например

$N = 90, 100, 110, W^{(k)}, \vartheta^{(k)}, \alpha_1^{(k)}, \alpha_2^{(k)}, M_y^{(k)}$ имеют сходимость до двух и более знаков точности, а $\theta^{(k)}$ — до трех и более; $Q_2^{(k)}, Q_1^{(k)}, M_x^{(k)}$ — до одного-двух знаков точности (таблица). Во всех шагах сетки функция пластичности $\omega^{(k)}$ и интенсивности $e_1^{(k)}$ сходятся до двух-трех и более знаков точности. Алгоритм с заданным модулем сходимости, построенный на основе метода конечных разностей, требует четырех итераций для каждого нагруженного (для $\varepsilon = 10^{-4}$).

Исходя из анализа численной сходимости параметров, можно сделать вывод, что для ведения серийного счета пространственных стрелней при переменных упруго-пластических нагруженных можно принять число узлов $N = 90$.

Литература:

1. Москвитин, В. В. Пластичность при переменных нагруженных. Изд-ваб, МГУ 1965.
2. Кабулов, В. К. Алгоритмизация в теории упругости и деформации теории пластичности, Ташкент, «Фан», 1966 г.
3. Олимов М., Жакбаров О. О, Ирискулов Ф. С., Алгоритм решения прикладных задач для обыкновенных дифференциальных уравнений четвертого порядка с методом дифференциальной прогонки «Молодой учёный» Ежемесячный научный журнал № 6 (86)/2015 г. часть 2
4. Олимов, М., Ирискулов С., К. Исманова, А. Имомов., «Численные методы и алгоритмы» учебное пособие «Наманган» 2013 йил

Методы интеллектуального анализа данных

Певченко Светлана Сергеевна, программист
Северо-Кавказский федеральный университет (г. Ставрополь)

Под интеллектуальным анализом данных понимают обработку информации и выявление в ней тенденции, которая помогает принимать решения. Существует множество различных методов интеллектуального анализа данных, моделирования запросов обработки и сбора информации [2].

Интеллектуальный анализ+ данных (многие знакомы с этим термином по его английскому названию data mining) — одна из самых актуальных тем в современном мире. И это не преувеличение: бизнес-анализ+ — только малая часть сферы применения этого мощнейшего инструмента.

Принципы интеллектуального анализа данных известны уже долгое время, но с появлением больших данных они получили еще более широкое распространение. При работе с большими наборами данных уже недостаточно относительно простой и прямолинейной статистики. Имея около миллиона подробных записей необходимо знать не только информацию о месте нахождения нескольких тысяч записей, но также необходимо понимать принадлежит ли эта категория записей к определенной группе.

Данные требования создали сложный процесс интеллектуальному анализу данных. Для решения задач требуется анализ+ данных, в котором строится модель для описания информации, а также в заключение создается результирующий отчет.

Большие данные объединяют три измерения: объем, скорость и разнообразие [3].

Объем: когда предприятия переполнены данными всех типов, объем которых растет и легко может достичь терабайтов и даже петабайтов.

Скорость: иногда 2 минуты — это слишком долго. В таких чувствительных ко времени процессах как выявление мошенничества большие данные следует использовать по мере их поступления в организацию для того чтобы максимально повысить их ценность.

Разнообразие: большие данные могут относиться к любому структурированному или неструктурированному типу, представляя собой текст, данные с датчиков, звук, видеозапись, списки посещенных веб-страниц, файлы протоколов и другие данные. Когда все эти данные различных типов анализируются, рождаются новые идеи.

Интеллектуальный анализ+ данных можно выполнить с относительно скромными системами баз данных и простыми инструментами, включая создание своих собственных или с использованием готовых пакетов программного обеспечения. Сложный интеллектуальный анализ+ данных опирается на прошлый опыт и алгоритмы, определенные с помощью существующего программного обеспечения и пакетов, причем с различными методами ассоциируются разные специализированные инструменты [4].

Работа с большими наборами данных, а так же их обработка дает возможность создавать сложные обобщения результатов интеллектуального анализа данных по группам и сопоставлениям данных. В настоящее время доступны новые системы и инструменты, такие как комбинированные системы хранения и обработки данных. Базы данных SQL строго регламентируют структуру и жестко придерживаются схемы, что упрощает запросы к ним и анализ+ данных с известным форматом и структурой.

Рассмотрим некоторые ключевые методы интеллектуального анализа данных.

Ассоциация (или отношение) является наиболее известным методом интеллектуального анализа данных. Данный метод заключается в сопоставлении двух или более элементов чаще всего одного и того же типа.

Метод классификации используют при описании нескольких атрибутов для идентификации определенного класса, а также в качестве входных данных для других методов. Для определения классификации применяют деревья принятия решений. Каждый класс обладает определенными свойствами, которые характеризуют его объекты.

Наглядный пример — задача выяснения кредитоспособности клиента. Банковский служащий при этом оперирует двумя известными ему классами — «кредитоспособный» и «некредитоспособный».

Итак, задача классификации — определить к какому классу относятся те или иные данные; при этом множество классов к одному из которых впоследствии можно отнести исследуемый объект заранее известно.

Отнести клиента к той или иной группе помогает анализ+ его характеристик — возраста, места работы, уровня дохода, семейного положения. То есть фактически задача интеллектуального анализа данных сводится к тому, чтобы определить значение одного из параметров объекта анализа по значениям всех прочих его параметров.

Кластеризация позволяет использовать общие атрибуты различных классификаций в целях выявления кластеров. Исследуя один или более атрибутов можно сгруппировать отдельные элементы данных, вместе получая структурированное заключение. На простом уровне при кластеризации используется один или несколько атрибутов в качестве основы для определения кластера сходных результатов. Кластеризация полезна при определении различной информации, потому что она коррелируется с другими примерами, так что можно увидеть где подобия и диапазоны согласуются между собой [1].

Кластеризация — задача на первый взгляд очень похожая на метод классификации. Этот метод, также называемый кластерным анализом, является логическим продолжением или, если хотите, обобщенным случаем задачи классификации, когда набор классов заранее не известен.

При этом каждый ребенок сталкивается с этим методом уже на раннем этапе своего развития — когда учится отличать круг от квадрата или кошку от собаки оперируя лишь принципом «похожести — непохожести».

Более «взрослым» примером является широко известная задача сегментации рынка основная предпосылка, которой — предположение что все клиенты разные, хотя их и можно разделить на неопределенное количество групп. Маркетолог разделяет клиентов на сегменты или кластеры по принципу условного сходства — похожему социальному и географическому положению основным мотивам покупки.

Прогнозирующие методы используют значения одних переменных для предсказания неизвестных (целевых) значений переменных. В сочетании с другими методами интеллектуального анализа данных прогнозирование предполагает анализ+ тенденций классификацию сопоставление с моделью и отношения.

Метод под названием прогнозирование хорошо знаком бизнесменам: анализируя данные прошлых периодов можно построить прогноз на будущее — причем, чем подробнее исторические данные и чем больше анализируемый отрезок времени, тем точнее получатся результаты.

Этот метод нередко применяется для оценки спроса на услуги, и товары прогнозирования структуры сбыта,

характеризующегося сезонными колебаниями или потребности в кадрах. Если, к примеру, директор ресторана быстрого питания хочет определить, сколько гамбургеров заказывать на ноябрь он должен проанализировать цифры ноябрьских продаж в минувшие пять лет.

Последовательные модели используются для анализа долгосрочных данных — полезный метод выявления тенденций или регулярных повторений подобных событий.

Дерево решений, связанное с большинством других методов, используют в рамках критериев отбора ла так же для поддержки выбора определенных данных в рамках общей структуры. Дерево решений начинают с простого вопроса, который имеет два ответа (но возможно и больше). Каждый ответ приводит к следующему вопросу помогая классифицировать и идентифицировать данные или делать прогнозы.

Деревья решений чаще всего используются с системами классификации информации системами прогнозирования, где различные прогнозы могут основываться на прошлом историческом опыте, который помогает построить структуру дерева решений и получить результат.

Метод комбинации используется довольно редко. Он подобен методам классификации и кластеризации.

При всех основных методах часто имеет смысл записывать и впоследствии изучать полученную информацию. Для некоторых методов это совершенно очевидно. Например, при построении последовательных моделей и обучении в целях прогнозирования анализируются исторические данные из разных источников и экземпляров информации.

В других случаях этот процесс может быть более ярко выраженным. Деревья решений редко строятся один раз и никогда не забываются. При выявлении новой информации событий и точек данных может понадобиться построение дополнительных ветвей или даже совершенно новых деревьев.

Некоторые из этих процессов можно автоматизировать. Например, построение прогностической модели для выявления мошенничества с кредитными картами сводится к определению вероятностей, которые можно использовать для текущей транзакции с последующим обновлением этой модели при добавлении новых (подтвержденных) транзакций. Затем эта информация регистрируется так, что в следующий раз решение можно будет принять быстрее.

Интеллектуальный анализ+ данных опирается на построение подходящей модели и структуры которые можно использовать для обработки выявления и создания необходимой информации. Независимо от формы и структуры источника данных информация структурируется и организуется в соответствии с форматом, который позволяет выполнять интеллектуальный анализ+ данных с максимально эффективной моделью.

Подумайте о комбинировании бизнес-требований по интеллектуальному анализу данных с выявлением существующих переменных (покупатель стоимость страна)

и созданием новых переменных, которые можно использовать для анализа данных на подготовительном этапе.

Аналитические переменные для данных полученных из множества различных источников можно составить в единую определенную структуру (например, создать класс покупателей определенных уровней и возрастов или класс ошибок определенного типа).

В зависимости от источника данных важно выбрать правильный способ построения и преобразования этой информации, каким бы ни был метод окончательного анализа данных. Этот шаг также ведет к более сложному процессу выявления сбора упрощения или расширения информации в соответствии с входными данными.

Источник данных местоположение и база данных влияют на то как будет обрабатываться и объединяться информация.

Различные методы Data Mining характеризуются определенными свойствами, которые могут быть определяющими при выборе метода анализа данных. Методы можно сравнивать между собой оценивая характеристики их свойств.

Основные свойства и характеристики методов Data Mining: точность масштабируемость интерпретируемость проверяемость трудоемкость гибкость быстрота и популярность.

Масштабируемость — свойство вычислительной системы, которое обеспечивает предсказуемый рост системных характеристик, например скорости реакции общей производительности и пр. при добавлении к ней вычислительных ресурсов.

Интеллектуальный анализ+ данных — это не только выполнение некоторых сложных запросов к данным хранящимся в базе данных. Независимо от того используете ли вы SQL базы данных на основе документов простые неструктурированные файлы необходимо работать с данными форматировать или реструктурировать их. Требуется определить формат информации, на котором будет основываться ваш метод и анализ+. Затем, когда информация находится, в нужном формате можно применять различные методы (по отдельности или в совокупности) не зависящие от требуемой базовой структуры данных или набора данных.

Литература:

1. Прогнозная аналитика: страница Википедии по прогностическому анализу с обзором общих приложений и методов используемых для прогнозирования.
2. Data mining: страница Википедии об интеллектуальном анализе данных.
3. <http://www.interface.ru/home.asp?artId=34686&vId=375>: IBM Big Data
4. Дюк, В. А. Data Mining: Учебный курс. СПб.: Питер2010.368 с.
5. Васильев, В. П. [и др.]. Разработка информационно-аналитической системы мониторинга и прогнозирования развития системы образования в субъектах Российской Федерации до 2015 года Мат. Всерос. науч.-практич. конф. «Человеческое измерение в информационном обществе» в рамках Всерос. форума «Образовательная среда — 2003». — М.: ВВЦ 2003.

Разработка бизнес-аналитики с использованием SQL SERVER ANALYSIS SERVICES 2010

Певченко Светлана Сергеевна, программист
Северо-Кавказский федеральный университет (г. Ставрополь)

Предприятие, которое предоставляет товары и услуги в нужном месте, а также обеспечивает поддержку потребителей будет, является успешным при условии принятия эффективных решений. Первым шагом в эффективном принятии решений будет определение конкретных целей. После установления цели следует предоставить точную информацию, являющейся основной для принятия решений, соответствующим людям, которые отвечают за принятия решения. Важным фактором является поступление базовой и возвратной информации.

С помощью бизнес-аналитики в предприятие происходит процесс получения и распределения такой ин-

формации? Бизнес-аналитика (Business Intelligence, BI) — это предоставление точной, полезной информации соответствующим лицам, ответственным за принятие решений, в требуемых временных рамках для поддержания эффективности принятых решений [2]. Занимаясь поиском аналитического решения в подобных ситуациях, у аналитиков обычно имеется достаточно неплохое представление о том, что где и как искать. В данном случае используют соответствующие методы анализа данных — анализ, определяемый структурой. Эта форма анализа разрешает только информацию, которую разработчик включил в отчет при его создании, т. е. детализированную

информацию нельзя будет получить. Разработчики решений не могут определить, в каких именно данных могут нуждаться пользователи отчетов. Но они могут создать интерактивную среду, которая дает пользователям возможность двигаться среди данных в произвольном направлении. Бывают ситуации, в которых данные могут включать ответы на вопросы, которые не задавались пользователем. Данные могут содержать тренды, показатели корреляции и детализированные зависимости, которые невозможно заметить невооруженным взглядом при использовании описанных форм анализа. Такие связи могут быть выявлены посредством интеллектуального анализа данных. Подобная информация может быть исключительно ценна при планировании рекламных акций, прогнозирование вероятности покупки товара в магазинах.

Для обеспечения ведения интеллектуального анализа необходимо разработать аналитическую систему (OLAP-систему), либо иной инструмент, для обработки агрегированных данных на основе определенных в компании источников информации.

Многие предприятия отслеживают процессы в ходе решения задач. Принятые заказы, произведенные товары, оказанные услуги — результатом всех этих видов взаимодействия становится одна или несколько записей в некотором хранилище данных.

Хранение данных осуществляется в системах оперативной обработки транзакций — OLTP-системах. Системы OLTP (online transaction processing) создаются для обеспечения высокого параллелизма, предоставляя возможности для многих пользователей одновременно обращаться к одному источнику данных и производить необходимую обработку данных [1]. В задачи OLTP-системы входит обработка данных, целостность данных, создание отчетов, а также модернизация предлагаемых служб для формирования и укрепления лояльности клиентов.

Наилучшим решением в данный момент для подобных систем, удовлетворяющим вышеперечисленные задачи являются реляционные базы данных. Analysis Services 2010 поддерживает все источники данных, которые используют интерфейс соединения, реализованный посредством провайдера OLE DB и .NET. Источники данных для Analysis Services 2010 могут быть реляционные базы данных Microsoft SQL Server, DB2, Oracle и TeraData и т.д. Но для поддержки определенного источника данных требуется установить компоненты провайдера данных.

OLTP-системы являются поставщиками данных, предназначенные для ведения бизнес-аналитики, а также, которые являются мерами принятых решений. При использовании OLTP-систем в качестве основы для реализации BI-функционала данные переносят в отдельное хранилище, которое впоследствии станет источником данных для вычисления различных мер. Таким образом, для использования BI-задач данные хранят вне OLTP-систем. Описанная схема называется витриной данных. Витрина данных — набор данных за определенный период времени, хранящихся в электронном хранилище и не исполь-

зующихся в повседневной деятельности организации [5]. Вместо этого данные применяются для решений BI-задач. Следует отличать понятие хранилища данных от витрины данных. Под хранилищем понимается глобальный репозиторий, предназначенный для хранения всех данных организации за определенный период времени.

Витрины данных дают существенные возможности консолидации анализируемых данных и снижения нагрузки на OLTP-системы, которые являются жизненно необходимыми для нормального функционирования предприятия. В витрине данных могут содержаться сразу несколько OLTP-систем, что позволяет вычислять сложные аналитические меры. Витрины данных обновляются в заданные интервалы времени. В ходе извлечения, трансформации и загрузки, данные извлекаются из одной или нескольких OLTP-систем, проходя все необходимые этапы очистки и приведения к единому формату, после чего очищенные данные загружаются в витрину данных. В качестве инструмента для заполнения и обновления информации используются Integration Services, входящих в состав SQL Server. Структура витрины данных. Данные, используемые в бизнес-аналитике, можно поделить на четыре категории: меры, измерения, атрибуты и иерархии. Данная структура определяет витрину данных. Мера — численное значение, выражающее определенный аспект эффективности деятельности организации [4]. Информация, представленная этим значением, используется для принятия решения или оценки эффективности работы организации. Меры также называют фактами.

Измерением считают способ ранжирования данных, который используется для разделения агрегированных мер на составляющие части, а атрибутом является элемент информации, который относится к измерению, но не является уникальным идентификатором измерения. Иерархией называется структура, которая состоит из связанных между собой измерений, организованных в два и более уровня. Ранжирование дает возможность видеть составные элементы ранжированных мер. Меры и измерения хранятся в витрине данных двумя способами — с использованием двух разных видов схем: «звезда» и «снежинка». Меры вычисляются агрегированием также, как и в схеме «Звезда».

Системы OLAP (online analytical processing) — системы аналитической обработки в реальном времени [3]. Целью создания системы является анализ огромных объемов данных, генерирование резюме и агрегаций множеством различных способов, чтобы помочь менеджерам, принимающим решения, находить стереотипы и тенденции, что позволяет компании улучшать собственную производительность, добиваться конкурентных преимуществ. OLAP-системы проектируются для предоставления пользователям простого и быстрого доступа к бизнес-данным. Эти данные обычно хранятся в витринах данных. OLAP-система предоставляет быстрый механизм просмотра и анализа информации, хранящейся в витрине данных. Внутри OLAP-систем бизнес-данные принимают

вид мер, измерений, иерархий и кубов. На самом деле центральным элементом OLAP-системы является куб.

Куб — это структура, содержащая значений одной или нескольких мер для всех уникальных комбинаций ее измерений [6]. Это могут быть детализированные, или листовые, значения. Куб содержит агрегированные значения, формируемые с помощью иерархий измерений или выносом одного, или нескольких измерений из иерархии. Заключительной целью создания кубов является минимизация времени обработки запросов, извлекающих требуемую информацию из фактических данных. Чаще всего для реализации данной задачи кубы содержат предварительно вычисленные итоговые данные. Возвращение запросом уже существующих агрегированных данных выполняется почти мгновенно по сравнению с выполнением неподготовленных запросов, которые самостоятельно вычисляют итоговые данные. Суть средств бизнес-аналитики заключается в возможности запрашивать информацию, включающую в себя гигабайты или терабайты вычисленных данных, а также этом немедленный ответ с сервера. Требования к проектированию кубов содержать определенные правила, а также не содержат избыточной информации, т. е. является очень удобным инструментом для интеллектуального анализа данных. Служба Analysis Services 2010 является частью SQL Server, выпущенной компанией Microsoft в ноябре 2010 года. SQL Server включает в себя помимо этого службы также Integration Services, Reporting Services и Notification Services. Архитектура SQL Server Analysis Services была переработана для достижения масштабируемости и надежности на уровне программного обеспечения промышленного класса, который обеспечивает защиту на уровне мелких структурных элементов. Основой архитектуры Analysis Services является унифицированная модель измерений (UDM — unified dimensional model). Унифицированная модель измерений, как и предполагает ее название, предполагает инкапсулировать доступ к различным источникам данных в единой модели.

Основные возможности UDM: Поддержка доступа к разнородным данным. UDM предназначена для интеграции и хранения данных из разнородных источников. Это позволяет компоновать различные схемы в единую унифицированную модель, которая дает возможность конечным пользователям отправлять запросы к единой модели. Доступ к данным в реальном времени с высоким быстродей-

ствием. Модель создает MOLAP-кэш для базовых данных, если они изменяются в исходной реляционной базе данных, то создается новый кэш. В процессе создания кэша результаты извлекаются из реляционной базы данных. Широкий спектр метаданных, которые легко использовать для изучения данных и навигации по ним. UDM обеспечивает консолидированный вид исходных данных благодаря избытию метаданных, предусмотренных в мире OLAP. UDM предоставляет возможность просматривать специфические разделы унифицированной модели, основываясь на потребностях бизнеса.

Модель создания отчетов и анализа. UDM обеспечивает наилучшую функциональность реляционных систем и систем OLAP. UDM не только предоставляет возможность запрашивать агрегированные данные, которые обычно используются для анализа, но также обладает способностью обеспечивать создания подобных отчетов вплоть до уровня транзакций через многочисленные разнородные источники данных. SQL Server предоставляет 9 алгоритмов анализа данных: Дерево решений (Microsoft Decision Trees) Кластеризация (Microsoft Clustering) «Наивный» Байес (Microsoft Na?ve Bayes) Кластеризация последовательностей (Microsoft Sequence Clustering) Временные ряды (Microsoft Time Series) Ассоциативные правила (Microsoft Association) Нейронная сеть (Microsoft Neural Network) Линейная регрессия (Microsoft Linear Regression) Логистическая регрессия (Microsoft Logistic Regression) Используя комбинацию этих алгоритмов можно создавать решения для большей части встречающихся задач по обнаружению скрытых закономерностей в больших объемах данных. Заключение.

Средства бизнес-аналитики SQL Server предоставляют массу новых возможностей. Каждый управленческий уровень организации получает в свое распоряжение мощные инструменты анализа, обеспечивающие бизнес-аналитической информацией специалистов, принимающих решения. Сложность, которая делала долгим, дорогостоящим и рискованным предприятием хранение и интеллектуальный анализ данных, ведение отчетности в масштабе предприятия и интеграцию этих решений с чисто деловыми приложениями, теперь стала в значительной степени уменьшена, если не устранена совсем. С помощью SQL Server организации смогут быстро разработать инструменты, обеспечивающие максимально эффективное принятие решений!

Литература:

1. Виейра, Р. Программирование баз данных SQL Server 2010 для профессионалов. «Вильямс», «Диалектика», 2012.
2. Ларсон, Б. Разработка бизнес-аналитики в Microsoft SQL Server 2010. «Питер», 2012.
3. Харинатх, С., Куинн С. SQL Server Analysis Services и MDX для профессионалов. «Диалектика», 2010.
4. Чубукова И., А. Data Mining. «Интернет-университет информационных технологий», «Бином. Лаборатория знаний», 20012 г.
5. Microsoft TechNet «Основные понятия интеллектуального анализа данных» <http://technet.microsoft.com/ru-ru/library/ms174949.aspx>

6. Base Group http://www.basegroup.ru/library/methodology/data_mining/
7. Business Data Analytics <http://www.businessdataanalytics.ru/>

Повышение точности позиционирования хирургического робота «Да Винчи»

Поезжаева Елена Вячеславовна, кандидат технических наук, доцент, профессор;
Новикова Анастасия Александровна, студент;
Сайкинова Вероника Алексеевна, студент
Пермский национальный исследовательский политехнический университет

При ведении операций при помощи хирургического робота «Да Винчи» совершались ошибки, связанные с недостаточной точностью позиционирования манипуляторов робота и приводящие к летальному исходу оперируемого, что необходимо свести к минимуму. Предложено решение, предусматривающее увеличение точности позиционирования манипуляторов робота посредством снижения вибраций исполнительного органа.

Ключевые слова: робот, хирургия, роботизированная операция, точность позиционирования.

Ранее самые богатые клиники по всему миру приобрели хирургического робота «Да Винчи». Система робота «Да Винчи» — это система, предназначенная для робот-ассистированной лапароскопии. Выполняет такие операции, как: восстановление митрального клапана, реваскуляризация миокарда, абляция тканей сердца, установка эпикардального электронного стимулятора сердца для бивентрикулярной ресинхронизации, желудочное шунтирование, фундопликация по Nissen, гистерэктомия и миомэктомия, тимэктомия, лобэктомия легкого, эзофагоэктомия, резекция опухоли средостения, радикальная простатэктомия, пиелопластика, удаление мочевого пузыря, радикальная нефрэктомия и резекция почки, реимплантация мочеточника. Она состоит из трех основных частей: операционной панели, панели управления и оптической системы. Хирург сидит за панелью управления, видит операционное поле при помощи стереоскопического видеоканала и посредством джойстиков управляет инструментами в «руках» робота. Операционная панель имеет несколько манипуляторов — 2 или 3 манипулятора, к которым крепятся инструменты и 1 манипулятор, на котором закреплена камера, и повторяет движения человеческих рук в теле пациента. Оптическая система предназначена для обработки изображения со стереоскопической камеры, находящейся на операционной панели. Видеосистема снабжена двумя независимыми каналами передачи изображений, сопряженными с двумя цветными мониторами высокого разрешения. Система так же имеет оборудование для обработки изображений, состоящее из двух видеокамер, алгоритмов усиления контуров и шумоподавления. Результирующее трехмерное изображение высокого разрешения четкое, яркое и резкое, без утомляющего мерцания и затухания. Управление камерой, осуществляемое через рукоятки и педали, обеспечивает плавное перемещение в операционном пространстве. На оптическом устройстве так же размещен и дополнительный монитор, позволяющий остальному персоналу следить за операцией.



Рис. 1. Панель управления, операционная панель и оптическая система

Казалось, что наступает новая эра, и робот поможет выздороветь миллионам людей, однако, в операциях с использованием этих роботов уже зафиксированы несколько летальных случаев. С таким исходом однажды завершилась операция на селезенке. Одна пациентка погибла из-за того, что робот случайно порезал кровеносные сосуды. В одном из случаев зафиксирована перфорация толстой кишки во время лечения простаты. Ещё известен случай, когда «Да Винчи» ударил свою пациентку по лицу, после чего хирургу пришлось проводить операцию самостоятельно, во избежание ненужного риска.

Вероятно, данная проблема связана с неточностью позиционирования манипулятора робота.

Синтез систем управления большинства роботов осуществляется в предположении, что звенья манипулятора и элементы механизма передачи являются абсолютно жесткими. Управление различными степеням подвижности производится, как правило, независимо с использованием обратной связи по положению и скорости, вводимой с помощью соответствующих датчиков, установленных на приводах степеней подвижности. При таком управлении одним из факторов, ограничивающих быстродействие робота, является вибрация, связанная с упругостью конструкции манипулятора.

Точность позиционирования исполнительного органа робота зависит от эффективности тормозного устройства с двойным действием управляющего золотника, способного обеспечить торможение без возникновения вибраций.

Рассматривается манипулятор с перемещением в цилиндрической системе координат (см. Рисунок 2). Поскольку перемещения в вертикальной степени подвижности мало влияют на динамику вращательной и радиальной степени подвижности, в дальнейшем рассматриваются движения только в двух последних степенях подвижности. Упругие элементы механизмов передачи каждой степени подвижности представлены в виде линейной и вращательной пружин с жесткостями соответственно K_1 и K_2 . объект манипулирования представлен точечной массой M_L . Степени подвижности приводятся в движение с помощью электродвигателей, передающих силу и вращательный момент звеньям манипулятора через упругий механизм передачи.

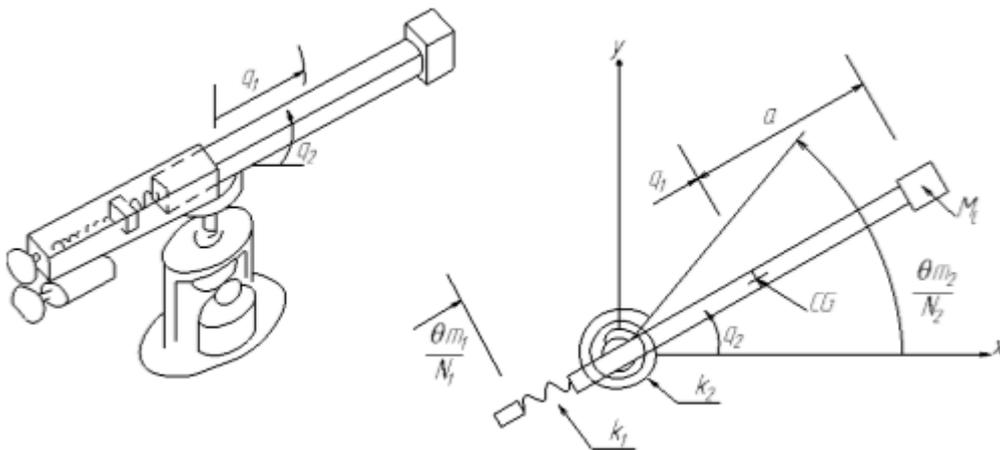


Рис. 2.

На всех степенях подвижности необходимо установить электроприводы от высокомоментных электрических двигателей DD-типа с непосредственной безредукторной передачей.

Таким образом, полная модель рассматриваемой плоской механической системы имеет четыре степени свободы и может быть представлена в виде

$$J_{m1} \ddot{\Theta}_{m1} + \frac{K_1}{N_1^2} (\Theta_{m1} - N_1 q_1) = T_{m1} - B_{m1} \dot{\Theta}_{m1}, \tag{1}$$

$$J_{A1} \ddot{q}_1 - [M_A q_1 + M_L (q_1 + a)] (\dot{q}_2)^2 + K_1 \left(q_1 - \frac{1}{N_1} \Theta_{m1} \right) = 0, \tag{2}$$

$$J_{m2} \ddot{\Theta}_{m2} + \frac{K_2}{N_2^2} (\Theta_{m2} - N_2 q_2) = T_{m2} - B_{m2} \dot{\Theta}_{m2}, \tag{3}$$

$$J_{A2} \ddot{q}_2 - 2[M_A q_1 + M_L (q_1 + a)] \dot{q}_1 \dot{q}_2 + K_2 \left(q_2 - \frac{1}{N_2} \Theta_{m2} \right) = 0, \tag{4}$$

где $J_{A1} = M_L + M_A, J_{A2} = J_1 + J_2 + M_A q_1^2 + M_L (q_1 + a)^2$,

Θ_{m1}, Θ_{m2} — положения валов двигателей; q_1, q_2 — положения степеней подвижности на выходе механизмов передачи; N_1, N_2 — передаточные отношения механизмов передачи; T_{m1}, T_{m2} — развиваемые двигателем мо-

менты; B_{m1}, B_{m2} — константы вязкого трения двигателей; J_{m1}, J_{m2} — моменты инерции роторов двигателей; M_A — масса звена; a — расстояние от центра тяжести звена до объекта манипулирования. Вводя в рассмотрение вектор $\ddot{q} = (\ddot{\theta}_{m1}, \ddot{\theta}_{m2}, \ddot{q}_1, \ddot{q}_2)^T$, можно уравнения (1–4) представить в комплексной форме

$$I(\ddot{q}) \ddot{q} + h(\ddot{q}, \dot{q}) + e(\ddot{q}) = P\tau, \quad (5)$$

где $h(\ddot{q}, \dot{q})$ включает в себя нелинейные взаимосвязанные члены, представляющие кориолисовы и центробежные силы, а также силы тяжести и вязкого трения; член $e(\ddot{q})$ представляет упругие силы в сочленениях.

Предложено улучшение модели робота, которое может повысить точность позиционирования до 0.01 мм, что снизит вероятность ошибки, которая может привести к летальному исходу пациента.

Литература:

1. Поезжаева, Е. В. // Промышленные роботы: учеб. пособие: в 3 ч. / Е. В. Поезжаева. — Пермь: Изд-во Перм. Гос. техн. ун-та, 2009. - Ч. 2. — 185.
2. Поезжаева, Е. В. // Теория механизмов и механика систем машин. / Е. В. Поезжаева. — Пермь: Изд-во Перм. Гос. техн. ун-та, 2015. — 400.

Электробалластер (electric ballasting machine)

Поезжаева Елена Вячеславовна, кандидат технических наук, профессор;

Юртаев Рустам Ильгизович, студент;

Чудинов Владислав Александрович, студент

Пермский национальный исследовательский политехнический университет

Роботы широко используются во всех отраслях промышленного производства, в домашних условиях и в сельском хозяйстве, выполняя большое количество разнообразных функций.

Роботы используются и в железнодорожной отрасли. Именно на создание робота, используемого на железной дороге, направлена наша работа.

В наше время поиск дефектов на железных дорогах очень важен, в первую очередь для безопасности передвижения поезда, целостности грузов и пассажиров.

Обнаружить такие неисправности сложно, и не всегда получается сделать это вовремя. Предлагаемый нами робот — электробалластер направлен на устранение дефектов. Он способен поставить железнодорожные пути на балластное основание при выполнении работ по строительству и техническому обслуживанию пути, проходя по ним.

Задача такого робота за короткое время выполнить дозировку балласта, предварительно выгруженного вдоль пути; срезать балласт у торцов шпал; сделать планировку откосов и междупутных зон призмы; поднять путевые решетки на формируемый балластный слой.

Конструкция электробалластера ЭЛБ-ЗМ (Рис. 1):

расстояние между тележками 7 и 15: 30,2 м; грузоподъемность электромагнитного подъемника 440 кН; ход механизма подъема составляет 450 мм; усилена конструкция дозатора, повышенная маневренность; рельсовые и шпальные щетки снабжены электроприводом; применена четырехосная тележка.

Электробалластер ЭЛБ-ЗМ состоит также из двух шарнирно сочлененных ферм 9 (ферма № 1) и 17 (ферма № 2), на которых смонтированы все рабочие органы. Ферма № 2 опирается на двухосную тележку (18) и четырехосную тележку (15), а ферма № 1 — на двухосную тележку (7) и междуферменный шарнир (14).

На ферме № 1 расположены кронштейн междуферменного шарнира (14), электромагнитный подъемник (13), балластерные рамы (12), механизмы сдвига пути // и подъема пути (4). У электромагнитного подъемника имеются рельсовые захваты (10), предназначенные для страховочного удержания поднятой путевой решетки при зарядке струнок п подъемке мостов. Перед тележкой № 1 установлены шпальные и рельсовые щетки (8). В хозяйственной будке (6) хранится инструмент для обслуживания механизмов электробалластера и ухода за ними. На центральном посту управления 3 находятся приборы и аппараты для управления электромагнитным подъемником и балластерными рамами

На ферме № 2 расположены кронштейн междуферменного шарнира (14), дозатор двустороннего действия (16), машинное отделение/и пост (2) управления дозатором. Вдоль обеих ферм установлены перила (5).

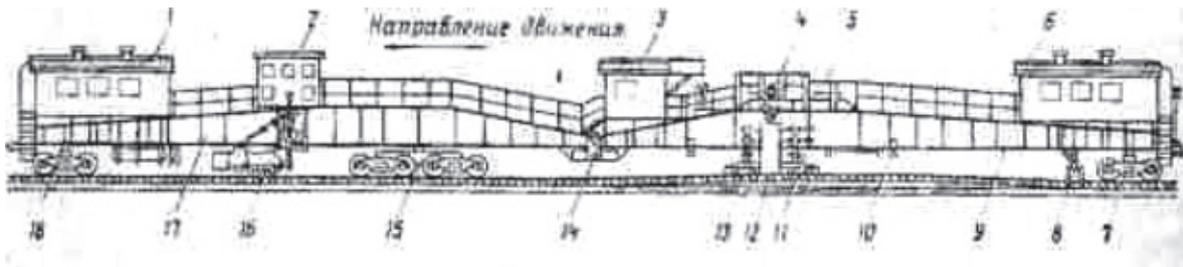


Рис.1

Благодаря наличию дифференциала поворотами робота можно управлять, изменяя скорость ω_1 вращения правой полуоси: при $\omega_1 < \omega_2$ робот поворачивает направо, при $\omega_1 > \omega_2$ -налево. Если обычно энергия подводится к двум полуосям независимо, то в данной конструкции подвод энергии осуществлен не к левой полуоси, а к внешнему зубчатому колесу.

Это позволяет сохранить неизменной величину ω_2 , что приводит к более равномерному движению робота.

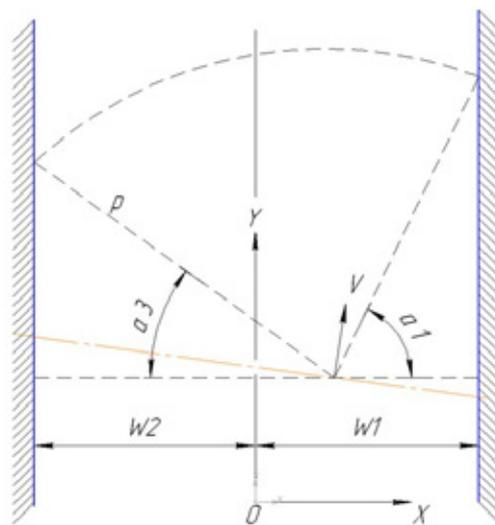


Рис. 2.

Для проведения автономного робота без столкновений с препятствиями в основу управления положен принцип «отталкивания» его от препятствий. Воображаемая «сила отталкивания» обратна расстоянию до препятствия, стремясь к бесконечности при приближении к нему в плоть до касания. Закон управления описывается следующими формулами(см. рис. 2):

$$\left(\frac{\omega_1}{\omega_2} - 1\right) * e_z = r = \int e_v \times \nabla \phi d\alpha \quad (1) \quad \phi(r) = K(r_0/n)(r/r_0 - 1)^{-n}, \quad (2)$$

Где положительные действительные величины K и n служат параметрами управления, e_z и e_v — единичные векторы в направлении оси z и скорости v соответственно, Γ момент вращения относительно вертикальной оси робота, r_0 — нормальный «радиус» робота (размер зоны безопасности), ϕ — потенциал фиктивного поля, обеспечивающего «отталкивание» от препятствий.

Таким образом, перемещаясь в воображаемом потенциальном поле, робот поворачивает направо при $\Gamma < 0$ и налево при $\Gamma > 0$.

Если обозначить $dx = ds \sin \theta$, $dy = ds \cos \theta$, (3) то можно записать $\omega_1 / \omega_2 = (R + \frac{1}{2}b/R)$

где b — расстояние между ведущими колесами робота, считая радиус кривизны левого поворота положительным, а правого — отрицательным.

Подстановка последнего выражения в управление (1) дает

$$\Gamma = \frac{1}{2} b/R, \quad (4)$$

откуда с учетом соотношения $ds = -Rd\theta$ следует $d\theta/ds = -(2/b)\Gamma$ (5)

Траектория движения робота получается из совместного решения уравнений (1), (2), (3) и (5).

Пусть, например, имеется прямой бесконечный коридор между двумя стенами. идеальная траектория, определяемая из уравнений (3) и (5) при $\Gamma=0$, параллельна стенкам и лежит на расстоянии w_1 по нормали от правой стенки и на расстоянии w_2 от левой стенки.

В обозначениях рис.3 можно описать движение робота после того, как он по какой-либо причине отклонится от идеальной траектории. Предельные углы α_1 и α_2 двух стенок определяются соотношениями

$$\cos \alpha_1 = (w_1 - x)/\rho, \cos \alpha_2 = (w_2 + x)/\rho, \quad (6)$$

где ρ — диапазон действия сенсорной системы.

Исходя из (1) и (2), можно записать

$$\Gamma = K_1 \int_{-\theta}^{\alpha_1} \left(\frac{w_1 - x}{r_0 \cos \alpha} - 1 \right)^{-(n+1)} \cos(\alpha + \theta) d\alpha - K_2 \int_{\theta}^{\alpha_2} \left(\frac{w_2 - x}{r_0 \cos \alpha} - 1 \right)^{-(n+1)} \cos(\alpha' + \theta) d\alpha'. \quad (7)$$

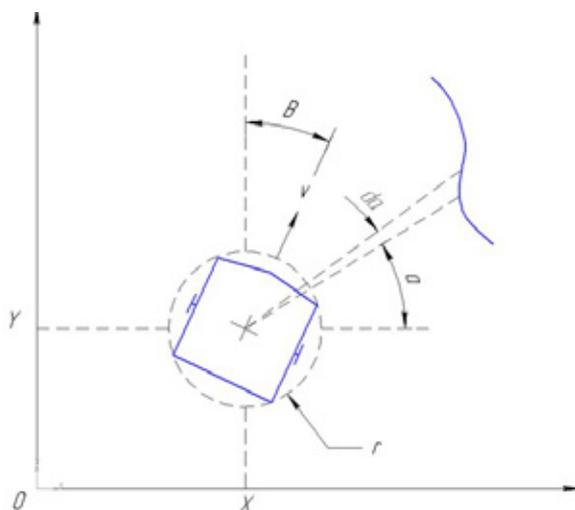


Рис. 3.

Численное решение системы (3), (5) с учетом (7) согласуется с оценками, вытекающими из теории малых возмущений. В приложении к статье приведены громоздкие выкладки. получающиеся при перемещении этой теории к выражению (7). В результате этих выкладок для случая малых отклонений, когда можно считать величины x/w_1 , θ , r_0/w_1 и w_1/ρ малыми, получается отношение

$$\Gamma = 2 \frac{n+1}{n+2} C \cos \theta \left[(n+1) \Lambda(n) \frac{x}{w_1} + \sin \theta \right], \quad (8)$$

Где $K_1 (r_0/w_1)^{n+1} = K_2 (r_0/w_2)^{n+1} = C$,

$$w_1^{-1} \frac{1}{2} (w_1^{-1} + w_2^{-1}) \text{ и } \Lambda(p) = \int_0^{\pi} \cos^p \alpha d\alpha.$$

Переход к независимой переменной y с учетом равенства $dx/dy = \tan \theta$ дает

$$\frac{d\theta}{dy} = - \frac{4n+1}{2n+2} C \left[\sin \theta + (n+1) \Lambda(n) \frac{x}{w_1} \right]. \quad (9)$$

При $\theta \ll 1$ можно получить следующее линеаризованное решение:

$$x = \exp\left(-\lambda \frac{y}{w_1}\right) \left[x_0 \cosh\left(k \frac{y}{w_1}\right) + \frac{\lambda x_0 + w_1 \theta_0}{k} \sinh\left(k \frac{y}{w_1}\right) \right] \quad (10)$$

$$\theta = \exp\left(-\lambda \frac{y}{w_1}\right) \left[\theta_0 \cosh\left(k \frac{y}{w_1}\right) - \frac{\lambda \theta_0 + (\lambda^2 - k^2) x_0 / w_1}{k} \sinh\left(k \frac{y}{w_1}\right) \right] \quad (11)$$

где параметры λ и k определяются отношениями $\lambda = 2 \frac{n+1}{n+2} C \frac{w_1}{b}$, $k^2 = \lambda^2 - 2(n+1) \Lambda(n) \lambda$.

Из последнего уравнения видно, что при

$C w_1 / b < (n+2) \Lambda(n)$ (12) k является мнимой величиной.

Если, например, положить $x_0/w^* = 0,1$, $\theta_0 = 10^\circ$, $n=1$ (т. е. $\Lambda(n) = 1$), то траекторией для $\lambda = 2, 4, 8$ примут вид, показанный на рис. 4, который демонстрирует, что при мнимом k (для $\lambda = 2$) возврат к идеальному маршруту происходит хуже, чем при действительном (для $\lambda = 8$) и при нулевом (для $\lambda = 4$) значениях k .

При выборе параметров K и n закона управления (1)-(2) целесообразно воспользоваться следующими соображениями:

а) поскольку величина момента Γ обратно пропорциональна $(r - r_0)^{n+1}$, т. е. влияние препятствия экспоненциально затухает с расстоянием, желательно уменьшать n , чтобы робот не был слишком «близоруким»;

б) коэффициент K следует выбирать малым, чтобы предотвратить возникновение слишком больших центробежных сил при резких поворотах;

в) желательно избегать мнимых значений k (см. рис.4)-это определяет ограничения снизу на величину K и с учетом неравенства (12) требует малых значений n ;

г) очень важно упростить расчетные формулы с целью ускорения вычислений.

В соответствии с этим обычно выбирают значения n , равные 1 или 2, и $k=0$. При этом уравнение (10) и (11) сводятся к виду

$$\frac{x}{x_0} = \left(1 + \lambda \frac{y}{w^*} + \theta_0 \frac{y}{x_0}\right) \exp\left(-\lambda \frac{y}{w^*}\right) \frac{\theta}{\theta_0} = \left[1 - \lambda \frac{y}{w^*} \left(1 + \frac{\lambda x_0}{\theta_0 w^*}\right)\right] \exp\left(-\lambda \frac{y}{w^*}\right),$$

где $\lambda = 2(n + 1)\Lambda(n)$.

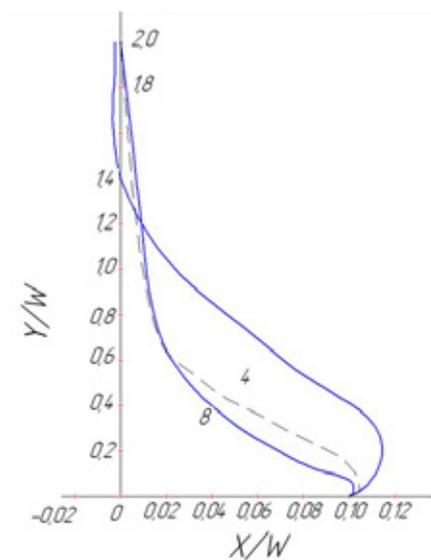


Рис. 4.

Для иллюстрации описанного метода управления движением робота в «потенциальном поле» приведены результаты машинного моделирования двух задач предотвращения столкновения мобильных роботов с препятствиями. Первая возникает при движении двух мобильных роботов на встречу друг другу в длинном узком коридоре с параллельными стенками. Вторая соответствует резкому повороту робота в Г-образном коридоре. В обоих случаях расположение стенок роботам априорно неизвестно, а расстояние до препятствий роботы определяют с помощью своих сенсорных систем.

На рис. 5 показаны траектории, полученные при модельном решении первой задачи в предположении, что роботу предложен формулами одинаковый и идеальный маршрут каждого из них в отдельности соответствуют значениям $\omega_1 = 1,5$ и $\omega_2 = 2,5$. Диапазон действия сенсоров роботов $p=6$; параметры управления $n = 1$ и $\frac{c}{b} = 1,6$.

Решение второй задачи демонстрируется на рис.6, где принято $n = 1$, $p=6$, $K_{r_0}/b=9$. Видно, что поворот робота происходит по достаточно плавной траектории.

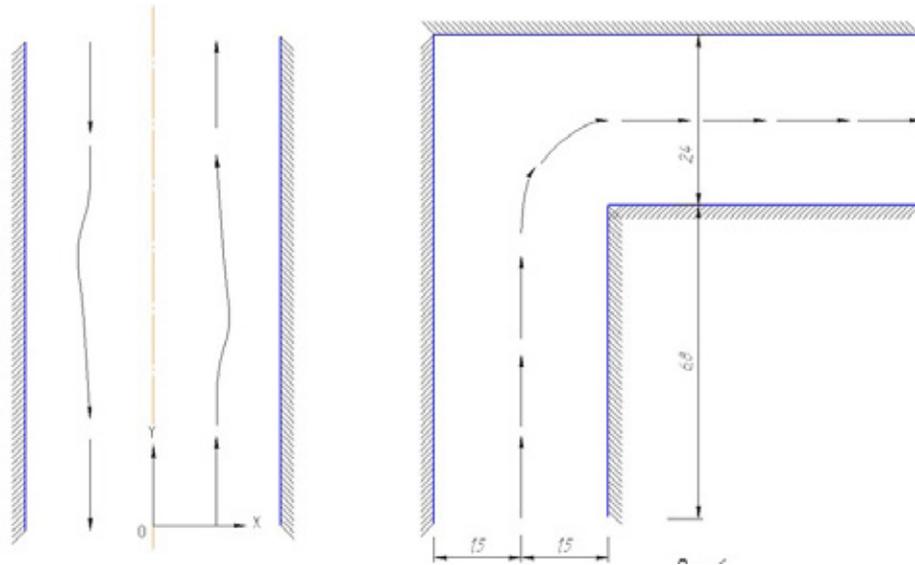


Рис. 5.

Вывод

Применение современных промышленных роботов увеличивает производительность, заменяет человека на монотонных и тяжелых работах, помогает экономить материалы и энергию.

Значимость промышленных роботов не в замене человека при обслуживании известных машин. Они явились тем недостающим звеном, которое позволило объединять разрозненное технологическое оборудование в комплексные гибкие автоматизированные производственные системы машин и приборов. Именно таким системам принадлежит будущее.

Литература:

1. Поезжаева, Е. В. Промышленные роботы: учебное пособие: в 3 ч.: Часть 2. Пермь Изд-во Пермского гос. техн. ун-та. 2009 г. 185 с. с илл.
2. «Балластировочные, щебнеочистительные машины и хоппер — дозаторы» Соломонов С. А. М.: Транспорт, 1991. 336 с.

Исследования напряженно-деформированного состояния кузова вагона-хоппера для перевозки цемента

Рахимов Рустам Вячеславович, кандидат технических наук
Ташкентский институт инженеров железнодорожного транспорта (Узбекистан)

В статье рассмотрены вопросы проектирования и внедрения в эксплуатацию новых конструкций вагонов на железных дорогах Республики Узбекистан. Выполнены теоретические исследования по определению прочностных характеристик кузова вагона-хоппера для перевозки цемента, спроектированного для выпуска на предприятии ДП «Литейно-механический завод» (Узбекистан, Ташкент).

Ключевые слова: вагон-хоппер, кузов, конструкция, прочность, нагрузка, сила, расчетный режим, напряжения, деформация.

С первых дней независимости и становления государственности Республики Узбекистан руководством страны были приняты решения, по развитию вагоностроения, которые подразумевают создание мощных

производственных комплексов с новейшим оборудованием, обеспечивающих высокую производительность и качество продукции, соответствующее мировым стандартам.

С применением современного оборудования, которое будет обслуживаться высококвалифицированными специалистами, производственные подразделения железнодорожной компании Республики Узбекистан значительно расширят свои технические и технологические возможности, а значит, и номенклатуру выпускаемой продукции, что увеличит экспортный потенциал и позволит обеспечить комплексные поставки продукции высокотехнологичного качества. Реализация проектов в области совершенствования конструкций и пополнения парка грузовых и пассажирских вагонов обеспечит вагоностроительным заводам республики устойчивую и стабильную работу и развитие на годы вперед.

Для освоения выпуска новой продукции железнодорожного транспорта специалистами вагоностроительных предприятий Республики Узбекистан ведутся разработки конструкций современных грузовых и пассажирских вагонов.

Одним из вагоностроительных заводов республики является ДП «Литейно-механический завод», инженеры и конструктора которого разработали конструкцию нового вагона-хоппера для перевозки цемента модели 19–9596 объемом 61,6 м³ при осевой нагрузке до 23,5 тс [1]. Основные технические характеристики вагона-хоппера приведены в таблице 1.

До постройки и внедрения в эксплуатацию данного вагона, было необходимо проверить соответствие конструкции требованиям нормативных документов. С использованием современных инженерных программ, сотрудниками кафедры «Вагоны и вагонное хозяйство» Ташкентского института инженеров железнодорожного транспорта были произведены расчеты напряженно-деформированного состояния новой конструкции вагона-хоппера для перевозки цемента.

С целью проверки прочностных характеристик кузова вагона-хоппера модели 19–9596, согласно установленным требованиям [1–3], были выполнены теоретические исследования. Кузов вагона-хоппера рассчитывался на прочность при первом (удар, рывок, сжатие и растяжение) и третьем (удар, рывок, сжатие и растяжение) расчетных режимах.

По первому расчетному режиму рассматривалось относительно редкое сочетание экстремальных нагрузок. Основное требование при расчете на прочность по этому режиму — не допустить появления остаточных деформаций в узле или детали.

По третьему расчетному режиму рассматривалось относительно частое возможное сочетание умеренных по величине нагрузок, характерное для нормальной работы вагона в движущемся поезде. Основное требование при расчете по этому режиму — не допустить усталостного разрушения узла или детали.

Принятые в соответствии с конструкторской документацией проекта 9596.00.00.000 ДП «Литейно-механический завод» марки сталей элементов кузова вагона-хоппера и их допускаемые напряжения принимались в соответствии с требованиями [1, 2].

Расчет производился методом конечных элементов с использованием расчетного пакета Ansys Workbench [4–5]. Для расчета вагона была собрана САД-модель и использовалась объемная конечно-элементная модель кузова вагона-хоппера. Элементы кузова имитировались объемными конечными элементами с тремя степенями свободы в каждом узле (три перемещения). Конечно-элементная модель вагона включает 234959 конечных элементов и 61111 узлов. Общий вид и вид конечно-элементной модели кузова вагона-хоппера показаны на рисунках 1 и 2.

В качестве кинематических граничных условий были приняты: ограничение вертикальных и поперечных перемещений в шкворневых узлах рамы; ограничение продольных перемещений в плоскостях заднего и переднего упоров автосцепки.

К модели были приложены нагрузки, действующие на кузов вагона-хоппера для перевозки цемента при первом и третьем расчетных режимах, которые определялись в соответствии с установленными требованиями [3].

При расчете по первому и третьему расчетным режимам принимались следующие сочетания нагрузок, действующих на кузов вагона-хоппера для перевозки цемента:

Таблица 1. Основные технические характеристики вагона-хоппера для перевозки цемента модели 19–9596

Наименование параметров	Величина
Масса (тара), т	21,0
Масса груза, т	72,5
Масса вагона (брутто), т	93,5
База вагона, мм	7800
Длина вагона по концевым балкам рамы, мм	10800
Длина вагона по осям сцепления автосцепок, мм	12020
Объем кузова (не более), м ³	61,6
Конструкционная скорость движения, км/ч	120
Масса тележки, т	5
Статический прогиб тележки, мм	48
Габарит по ГОСТ 9238–83	1-ВМ

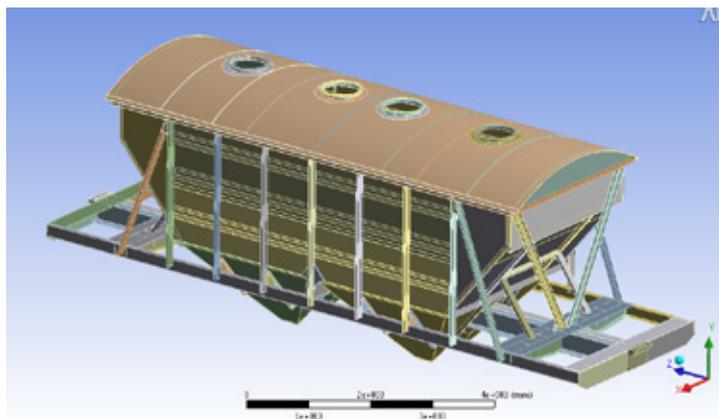


Рис. 1. Общий вид расчетной модели кузова вагона-хоппера

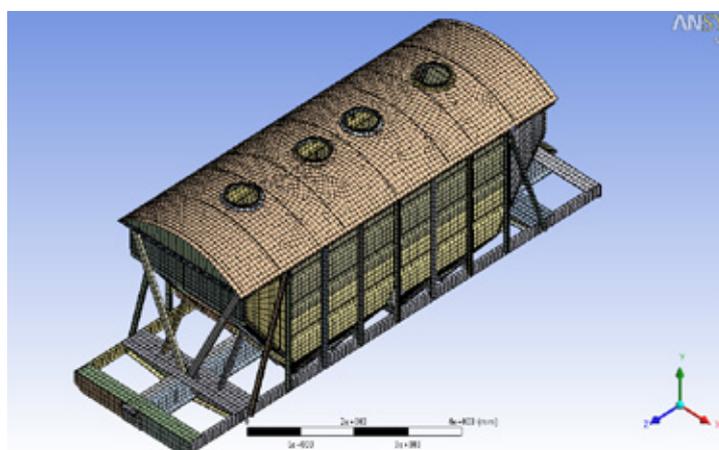


Рис. 2. Общий вид конечно-элементной модели кузова вагона-хоппера

- сила тяжести кузова вагона-хоппера;
- сила тяжести груза;
- продольная сила инерции кузова и тележек вагона-хоппера;
- продольная сила инерции груза;
- продольная сила удара или рывка (сжатия или растяжения), приложенная к упорам автосцепки;
- вертикальная сила при нецентральной взаимодействии автосцепок;
- поперечные силы взаимодействия между вагонами в кривых;
- вертикальная динамическая сила, определяемая умножением силы тяжести вагона на коэффициент вертикальной динамики для кузова вагона;
- боковая сила, возникающая при движении вагона в кривых участках пути, принимаемая согласно [3] 7,5% от силы тяжести груза;
- силы от распора груза.

Продольная сила инерции кузова и тележек вагона-хоппера определялась путем умножения массы кузова вагона на нормированную величину продольного ускорения. Для первого расчетного режима нормиро-

ванная величина продольного ускорения составляла 3,5g (для третьего расчетного режима 1g). При расчете к модели кузова вагона-хоппера прикладывалось ускорение.

Продольная сила инерции груза составляла для первого режима при ударе 2,71 МН, при рывке 1,94 МН (для третьего режима 0,77 МН). Продольная сила инерции груза распределялась между элементами торцевой стены, боковых стен и рамы вагона как равномерно распределенная нагрузка.

Продольная сила, приложенная к упорам автосцепки: для первого расчетного режима при ударе 3,5 МН, при рывке 2,5 МН (для третьего режима 1 МН).

Вертикальная сила при нецентральной взаимодействии автосцепок составляла для первого режима при ударе 175 кН, при рывке 138 кН (при сжатии 125 кН, при растяжении 110 кН), для третьего режима 25 кН при ударе и сжатии, 27,6 кН рывке и растяжении).

Активное (статическое) давление распора насыпного груза на единицу площади стенок кузова составило при первом расчетном режиме 3438 Н/м², при третьем расчетном режиме 15435 Н/м². При расчете к боковым и торцевым стенам кузова вагона-хоппера прикладыва-

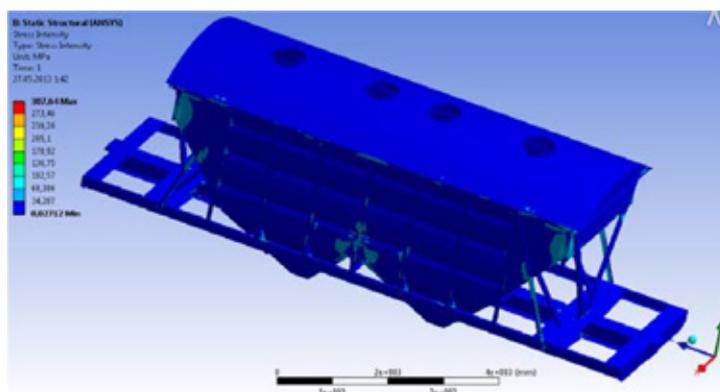


Рис. 3. Поля распределения эквивалентных напряжений в элементах вагона-хоппера (при сжатии вагона динамическими силами по I расчетному режиму (удар)), МПа

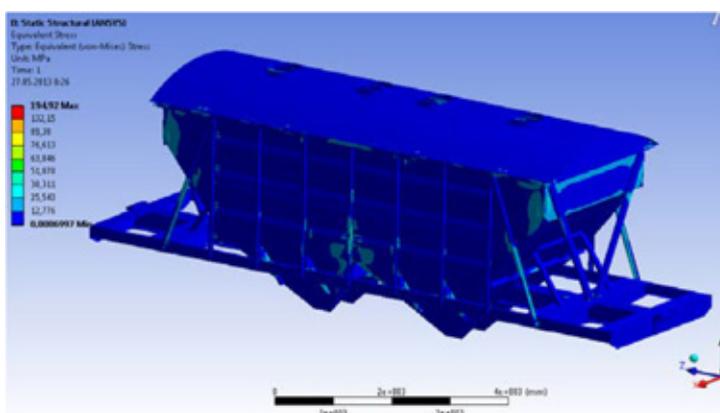


Рис. 4. Поля распределения эквивалентных напряжений в элементах вагона-хоппера (при сжатии вагона динамическими силами по III расчетному режиму (удар)), МПа

лось активное давление груза, изменяющееся от нуля в их верхней части до максимального значения в нижней части по линейному закону. Давление груза на торцевую стену определялось как частное от деления силы, равной 0,35 массы груза вагона при продольном ускорении 3,5g, на площадь поперечного сечения кузова в свету и составило 124059 Па.

Поперечные силы взаимодействия между вагонами в кривых составляют для первого режима при сжатии 200 кН, при растяжении 160 кН.

Также при расчете по первому расчетному режиму боковые стенки кузова вагона-хоппера для условий разгрузки на вагоноопрокидывателях проверялись на одновременное действие вертикальной и горизонтальной нагрузок, равномерно распределенных по ширине обвязки на длине 0,8 м средней части пролета обвязки между соседними стойками. Расчетная вертикальная сила на один пролет составило, получили 115 кН. Горизонтальная поперечная сила принималась равной 28,7 кН.

Коэффициент вертикальной динамики составил 0,35. Аналогичным образом были определены расчетные значения вертикальной динамической и боковой сил.

В результате теоретических исследований были получены эквивалентные напряжения, возникающие в элементах кузова вагона-хоппера при первом и третьем расчетных режимах.

Оценка прочности в соответствии с требованиями [1–3] производилась по эквивалентным напряжениям, вычисляемым по теории Мизеса. Поля распределения эквивалентных напряжений элементов кузова вагона — хоппера для рассматриваемых расчетных режимов приведены на рисунках 3–4.

При I расчетном режиме максимальные эквивалентные напряжения в элементах кузова составляют: в элементах торцевой и боковой стены и рамы (при ударе) 308 МПа (89,3 % от допускаемых напряжений).

При III расчетном режиме максимальные эквивалентные напряжения в элементах кузова составляют: в элементах торцевой и боковой стены (при ударе) 195 МПа (88,6 % от допускаемых напряжений).

В результате оценки прочности кузова вагона-хоппера для перевозки цемента модели 19–9596 установлено, что прочность элементов конструкции нового кузова удовлетворяет установленным требованиям [1–3].

На основании теоретических исследований, был построен опытный образец вагона-хоппера для проведения экспериментальных исследований. Проведенный сравнительный анализ результатов теоретических и эксперимен-

тальных исследований показал их хорошую сходимость, что в дальнейшем позволило освоить серийный выпуск данных вагонов-хопперов на базе ДП «Литейно-механический завод».

Литература:

1. ТУ 05949217–021:2015. Вагон-хоппер для перевозки цемента. Модель 19–9596. Технические условия. — Ташкент: ДП «Литейно-механический завод», 2015. — 36 с.
2. ГОСТ 30243.3–99. Вагоны-хопперы крытые колеи 1520 мм для сыпучих грузов. Общие технические условия. — Введ. 01.01.2002. — Минск: ИПК Издательство стандартов, 2001. — 8 с.
3. Нормы для расчета и проектирования новых и модернизируемых вагонов железных дорог МПС колеи 1520 мм (несамоходных). — М.: ГосНИИВ-ВНИИЖТ, 1996. — 317 с.
4. Чернов, А. Особенности создания сетки КЭ на платформе Workbench // Инженерно-технический журнал ANSYS Solutions. Русская редакция. — 2005. — № 1. — с. 26–29.
5. Конюхов, А. В. Основы анализа конструкций в ANSYS: Учебное пособие. — Казань: КГУ, 2001. — 102 с.

Обзор патентных источников кисломолочной продукции

Ребезов Максим Борисович, доктор сельскохозяйственных наук, профессор
Южно-Уральский государственный университет (г. Челябинск)

Нурымхан Гульнур Несиптайкызы, кандидат технических наук, и. о. доцента
Государственный университет имени Шакарима г. Семей (Казахстан)

Канарейкина Светлана Георгиевна, кандидат сельскохозяйственных наук, доцент
Башкирский государственный аграрный университет (г. Уфа)

Основными целями государственной политики Российской Федерации в области здорового питания населения на период до 2020 года является развитие производства пищевых продуктов, обогащенных незаменимыми компонентами, а также продуктов функционального назначения. Для сохранения здоровья населения и для предупреждения заболеваний немаловажное значение имеет употребление молочных продуктов питания [1–11]. Патентные исследования по теме проводились с целью отслеживания тенденций развития данной отрасли и определения достигнутых показателей разработок для использования их при производстве кисломолочных продуктов.

Проведен анализ информации по содержанию по следующим классам (см. табл. 1).

В настоящее время кефир является востребованным кисломолочным продуктом. Он обладает высокой пищевой ценностью, в его состав входит уникальный набор микроорганизмов: дрожжи, молочнокислые мезофильные

и ароматообразующие стрептококки, молочнокислые мезофильные и термофильные палочки, уксуснокислые бактерии. В настоящее время ведутся постоянные поиски усовершенствования технологии производства кефира и оценке его качества. Некоторые из них мы рассмотрим в этой статье.

1) Патент № 2529360 от 23.05.2013 «Способ получения кефира» (авторы: Потороко И.Ю., Попова Н.В., Ботвинникова В.В., Красуля О.Н.). Способ включает восстановление сухого молока путем смешивания его с водой, которую предварительно активируют методом ультразвуковой кавитации. Затем смесь сухого молока и активированной воды обрабатывают ультразвуковой кавитацией, выдерживают в течение 1–2 ч и проводят нормализацию, пастеризацию, охлаждение, заквашивание внесением закваски кефирного грибка в количестве 5%, охлаждение до 14–16 °С, созревание и розлив. Изобретение позволяет сократить длительность процесса производства кефира, повысить его вкусовые свойства и пищевую ценность.

Таблица 1. Темы в соответствии с международной классификацией МПК

Индекс	Тема
A23C9/00	молочные продукты; специальные технологические процессы молочной промышленности
A23C9/12	сброженные молочные продукты; обработка с использованием микроорганизмов и (или) ферментов

2) Патент № 2510999 от 16.01.2013 «Способ получения кефира» (авторы: Пономарев А.Н., Мерзликина А.А.). Способ включает нормализацию, пастеризацию, гомогенизацию, охлаждение до температуры заквашивания, внесение производственной закваски на кефирных грибах в количестве 2% одновременно с ферментом трансглутаминазой в количестве 0,2 кг на 1000 кг нормализованной смеси при температуре 23–25 °С, сквашивание, охлаждение до температуры созревания, розлив. При этом содержание лактоферрина в готовом продукте составляет 500–1100 мг/л. Изобретение позволяет повысить биологическую ценность продукта и его профилактические свойства, предотвратить синерезис в процессе хранения, повысить реологические свойства продукта, получить продукт с улучшенной структурой и повышенным качеством, с более мягким кисло-молочным вкусом и ароматом, придать сливочность продукту и увеличить срок хранения.

3) Патент № 2482689 от 01.12.2011 «Способ производства кефира с функциональными свойствами» (авторы: Полянская И.С., Топал О.И.). Для производства кефира с функциональными свойствами молочное сырье нормализуют, очищают, гомогенизируют, пастеризуют, охлаждают до температуры заквашивания, вносят закваску и совместно с закваской вносят порошок мелатонина в количестве 5–25 г на 1000 кг смеси, сквашивают, охлаждают, подвергают созреванию и разливают. Изобретение позволяет получить продукт, обладающий функциональными свойствами, геоадаптационными свойствами, и повысить его профилактические свойства.

4) Патент № 2477313 от 25.08.2011 «Штамм *Enterococcus hirae*, используемый при производстве кисломолочных продуктов» (авторы: Цугкиев Б.Г., Рамонова Э. В., Козырева И.И.). Изобретение относится к биотехнологии и молочной промышленности. Штамм *Enterococcus hirae* БК-37, обладающий высокой антагонистической активностью, депонирован во Всероссийской Коллекции Промышленных Микроорганизмов (ВКПМ) под регистрационным номером ВКПМ В-10090 и может быть использован при производстве, например, таких кисломолочных продуктов, как кефир, творог или ряженка. Изобретение позволяет получать штамм, обладающий высокой антагонистической активностью и высокой скоростью сквашивания молока.

5) Патент № 2477312 от 13.09.2011 «Штамм *Lactobacillus gallinarum*, используемый для приготовления кисломолочных продуктов» (авторы: Цугкиев Б.Г., Козырева И.И., Рамонова Э.В.). Штамм *Lactobacillus gallinarum* И-12, обладающий высокой антагонистической активностью, депонирован во Всероссийской Коллекции Промышленных микроорганизмов (ВКПМ) под регистрационным номером ВКПМ В-10134 и может быть использован при производстве, например, таких кисломолочных продуктов, как кефир, ацидофильное молоко, ацидофильно-дрожжевое молоко. Изобретение позволяет получить штамм, обладающий высокой ан-

тагонистической активностью и высокой скоростью сквашивания молока.

6) Патент № 2460307 от 28.04.2010 «Способ ускоренного производства кефира» (авторы: Кириева Т.В., Бронникова В. В, Снурницина М.К.). Способ производства кефира включает следующие стадии: внесение в пастеризованное охлажденное до температуры сквашивания молоко омагниченной в течение 15–20 с в разнонаправленном магнитном поле напряженностью 300 мТл суспензии, состоящей из пастеризованного молока в количестве 30% от общей массы и кефирной закваски в количестве 0,3% к массе молока, сквашивание охлажденной смеси до кислотности 75–85 °Т и ее созревание при температуре 4–5 °С до кислотности 110 °Т. Изобретение позволяет удлинить срок хранения продукта и улучшить его органолептические показатели.

7) Патент № 2453125 от 09.12.2010 «Способ получения кефира» (авторы: Рожкова И.В., Семенихина В.Ф., Харитонов В.Д.) Способ включает нормализацию, двойную пастеризацию молока: сначала при температуре 87 °С с выдержкой 15 мин, затем при 105 °С, гомогенизацию, охлаждение до температуры заквашивания, внесение кефирной грибковой закваски или производственной закваски, при получении которой перемешивание проводят при внесении грибов в молоко и перед отделением грибов от закваски, сквашивание. После сквашивания при достижении рН сгустка 4,7–4,75 осуществляют охлаждение до температуры созревания 14–16 °С в два этапа, сначала в течение 1–2 ч в состоянии покоя, а затем 6–8 ч при периодическом перемешивании через 1 ч в течение 2–5 мин. Изобретение позволяет удлинить срок хранения готового продукта до 28 дней, а также улучшить его вкус и консистенцию.

8) Патент № 2437092 от 23.03.2010 «Способ количественного анализа полисахарида, производимого молочнокислыми бактериями» (авторы: Еникеев Р.Р., Бобшко Д.Н., Руденко Е.Ю., Зимичев А.В.). Способ включает получение анализируемого раствора путем выдерживания навески продукта на кипящей водяной бане при перемешивании в течение не менее 10 минут, охлаждение и разбавление раствора с последующим отстаиванием осадка и отбором порции раствора, выдержку отобранного раствора в кислой среде при температуре 70–75 °С в течение 5 минут, охлаждение и нейтрализацию раствора гидроксидом натрия с последующим осаждением полисахарида спиртом или ацетоном при центрифугировании, промывание осадка холодным 50%-ным раствором осадителя, полный гидролиз полисахарида в 1 М растворе серной кислоты в течение 2 часов при 100 °С с последующей нейтрализацией гидроксидом натрия и определение содержания полисахарида по градуировочному графику для глюкозы. Достигается упрощение и ускорение анализа.

9) Патент № 2155488 от 12.10.1998 «Способ получения кефира с целебной добавкой» (авторы: Лебедьков В.И., Рычкова Т.П., Чанышева М.С.,

Евгенова С.А.). Пастеризованное и охлажденное до температуры заквашивания молоко сквашивают. Полученный сгусток охлаждают до 12–16 °С и вносят жидкую 40 % биологически активную добавку к пище «Эраконд». Способ позволяет повысить биологическую ценность кефира и предотвратить нарастание кислотности, поддерживая ее в пределах 85–100 °Т.

10) Патент № 2105485 от 08.09.1994 «Способ производства кефира для детского и диетического питания» (авторы: Орлов А.С., Тимакова Г.А.). Область использования: в молочной промышленности, в частности, при производстве кефира. Сущность изобретения: после

нормализации молока проводят деаэрацию, затем гоменизируют, стерилизуют, охлаждают до температуры заквашивания, вносят кефирную закваску и биомассу бифидобактерий, которую предварительно отмывают с использованием фильтрационной установки в течение 2–4 ч с непрерывной заменой 0,8–1,2 объема отфильтрованной среды 0,8 %-ным раствором хлористого натрия 0,02 М фосфатным буфером рН 6,8–7,2 до прозрачности фильтрата более 80 % от исходной среды.

Обзор патентных источников показал наличие большого числа российских инновационных разработок в сфере улучшения технологии производства кефира.

Литература:

1. Ребезов, М. Б., Основы законодательства и стандартизации в пищевой промышленности: учебное пособие/М. Б. Ребезов, Н. Б. Губер, К. С. Касымов. — Алматы: МАП, 2015. — 208 с.
2. Зинина, О. В. Инновационные технологии переработки сырья животного происхождения: учебное пособие/О. В. Зинина, М. Б. Ребезов, Г. Н. Нурымхан. — Алматы: МАП, 2015. — 126 с.
3. Канарейкина, С. Г. Методологические основы разработки новых видов молочных продуктов: учебное пособие/С. Г. Канарейкина, М. Б. Ребезов, А. Н. Нургазезова, С. К. Касымов. — Алматы: МАП, 2015. — 126 с.
4. Миронова, И. В. Основы лечебно-профилактического питания: учебное пособие/И. В. Миронова, З. А. Галиева, М. Б. Ребезов, Л. И. Мотавина и др. — Алматы: МАП, 2015. — 112 с.
5. Бурцева, Т. И. Развитие технологий функциональных и специализированных продуктов питания животного происхождения: учебное пособие/Т. И. Бурцева, М. Б. Ребезов, Б. К. Асенова, С. В. Стадникова. — Алматы: МАП, 2015. — 215 с.
6. Канарейкина, С. Г. Технология цельномолочных и пробиотических продуктов: учебное пособие/С. Г. Канарейкина, М. Б. Ребезов, Л. А. Ибатуллина, Б. М. Кулуштаева. — Алматы: МАП, 2015. — 99 с.
7. Асенова, Б. К. Контроль качества молока и молочных продуктов: учебное пособие/Б. К. Асенова, М. Б. Ребезов, Г. М. Топурия, Л. Ю. Топурия и др. — Алматы, 2013. — 212 с.
8. Попова, М. А. Кисломолочные продукты функционального назначения/М. А. Попова, М. Б. Ребезов, О. В. Несмеянова // Экономика и бизнес. Взгляд молодых: материалы международной заочной научно-практической конференции молодых ученых, 3 декабря 2013 г. — Челябинск: Издательский центр ЮУрГУ, 2013. — с. 173–176.
9. Попова, М. А. Перспективные направления производства кисломолочных продуктов, в частности йогуртов/М. А. Попова, М. Б. Ребезов, Р. А. Ахмедьярова и др. // Молодой ученый. — 2014. — № 9. — с. 196–200.
10. Гаязова, А. О. Технология продукции функционального назначения/А. О. Гаязова, М. Б. Ребезов, М. А. Попова, С. В. Лукиных // Технология и продукты здорового питания: материалы VIII Международной научно-практической конференции — Саратов: Буква, 2014. — с. 86–89.
11. Лукиных, С. В. Разработка функциональных продуктов питания с учетом современных требований/С. В. Лукиных, М. Б. Ребезов, М. А. Попова, А. О. Гаязова // Продовольственная индустрия: безопасность и интеграция: материалы международной научно-практической конференции — Пермь: ИПЦ Прокрость, 2014. — с. 31–34.

Влияние отработавших газов автомобильного транспорта на окружающую среду

Скрябин Максим Леонидович, кандидат технических наук, доцент
Вятская государственная сельскохозяйственная академия (г. Киров)

В данной статье рассмотрены аспекты влияния отработавших газов автомобильного транспорта и оксидов азота на окружающую среду.

Ключевые слова: *отработавшие газы, загрязнение воздуха, токсичные компоненты, оксиды азота.*

В настоящее время снижение загрязнения атмосферного воздуха токсичными веществами автомобильного транспорта, является одной из важнейших проблем, стоящих перед человечеством. Загрязнение воздуха оказывает вредное воздействие на человека и окружающую среду. Материальный ущерб, вызываемый загрязнением воздуха автомобильным транспортом, трудно оценить. При интенсивной урбанизации и росте мегаполисов автомобильный транспорт стал самым неблагоприятным экологическим фактором в охране здоровья человека и окружающей среды.

По оценкам специалистов ежегодные суммарные выбросы автотранспорта составляют 400 млн. т., среди которых около 27 млн. т. оксидов углерода (СО), 2,5 млн. т. углеводородов (C_nH_m), 9 млн. т. оксидов азота (NO_x), 200–230 млн. т. углекислого газа (CO_2). Среди всех видов транспорта автомобильный наносит наибольший ущерб окружающей среде. В России в местах повышенного загрязнения воздуха проживает около 64 млн. человек, среднегодовые концентрации загрязнителей воздуха превышают предельно допустимые более чем в 600 городах России. Уровень загрязнения воздуха вдоль городских автодорог России оксидами углерода (СО) достигает 3...5 ПДК, а оксидами азота (NO_x) 15...25 ПДК. Такая же напряженная экологическая ситуация и в большинстве стран Европы [1–15].

Образование токсичных веществ — продуктов неполного сгорания и оксидов азота (NO_x) в цилиндре двигателя в процессе сгорания происходит принципиально различными путями. Первая группа токсичных веществ связана с химическими реакциями окисления топлива, протекающими как в предпламенный период, так и в процессе сгорания — расширения. Вторая группа токсичных веществ образуется при соединении азота и избыточного кислорода в продуктах сгорания. Реакция образования оксидов азота носит термический характер и не связана непосредственно с реакциями окисления топлива (при условии отсутствия в топливе химически связанного азота). Поэтому рассмотрение механизма образования данных токсичных веществ целесообразно вести раздельно [16–28].

Выброс NO_x с ОГ, в соответствии с классической теорией образования оксидов азота, зависит от температуры в КС ДВС. Чем больше нагрузка двигателя, тем выше температура в КС, и соответственно больше выброс оксидов азота. Кроме того, температура в КС во многом за-

висит от состава смеси. Слишком обедненная или обогащенная смесь при горении выделяет меньшее количество теплоты, процесс сгорания замедляется и сопровождается большими потерями теплоты в стенки, т.е. в таких условиях выделяется меньшее количество NO_x . Выбросы токсичных компонентов растут, когда состав смеси близок к стехиометрическому. Для дизельных двигателей состав NO_x зависит от установочного УОВТ и периода задержки воспламенения топлива. С увеличением установочного УОВТ удлиняется период задержки воспламенения, улучшается однородность топливовоздушной смеси, большее количество топлива испаряется, и при сгорании резко увеличивается температура, т.е. увеличивается количество NO_x . Кроме того, с уменьшением установочного УОВТ можно существенно снизить выделение оксидов азота, но при этом значительно ухудшаются мощностные и экономические показатели работы дизеля [29–32].

Оксиды азота и их производные являются побочными продуктами нефтехимических производств (при отсутствии химически связанного азота в топливе) и рабочих процессов дизельных двигателей. Образуются в процессе горения, главным образом, как результат химических реакций атмосферного кислорода и азота, они оказывают влияние на легкие и на органы зрения. Начиная с 150 мкг/м³, при длительных воздействиях происходит нарушение дыхательных функций. Оксиды азота раздражают слизистую оболочку глаз и носа, разрушают легкие. В дыхательных путях оксиды азота реагируют с влагой, поражают слизистые оболочки, альвеолярную ткань легких и т.д.

Попадая в атмосферу, оксид азота постепенно превращается в диоксид путем взаимодействия с озоном и гидроперекисными радикалами. Таким образом, оксиды азота накапливаются в нижних слоях атмосферы. Их присутствие вызывает кислотные дожди, фотохимический туман — смог, снижает прозрачность атмосферы и сказывается на последующих превращениях главного компонента атмосферы — кислорода [29–32].

Проведя анализ вопроса загрязнения атмосферы ОГ дизелей, можно сделать вывод о необходимости снижения содержания оксидов азота в ОГ. Поэтому применение малоизученных методов по снижению этого токсичного компонента является основной научной задачей, требующей практического решения без серьезного изменения конструкции ДВС [29–32].

Литература:

1. Анфилатов, А. А. Снижение содержания оксидов азота в отработавших газах дизеля 2Ч 10,5/12,0 путём применения метанола с двойной системы топливоподачи. Диссертация на соискание ученой степени кандидата технических наук/Киров, 2009. — 184 с.
2. Анфилатов, А. А., Лиханов В. А., Лопатин О. П. Исследование процессов образования и разложения оксидов азота в цилиндре дизеля 2Ч 10,5/12,0 путем применения метанола с двойной системой топливоподачи: Монография. — Киров, 2008. — 156 с.
3. Лиханов, В. А., Анфилатов А. А. Изменение образования оксидов азота в цилиндре дизеля при работе на метаноле // Тракторы и сельхозмашины. 2015. № 4. с. 3–5.
4. Лиханов, В. А., Лопатин О. П., Анфилатов А. А. Снижение содержания оксидов азота в отработавших газах дизеля путём применения метанола с использованием двойной системы топливоподачи // Тракторы и сельхозмашины. 2012. № 5. с. 5–8.
5. Лиханов, В. А., Чувашев А. Н., Глухов А. А., Анфилатов А. А. Улучшение экологических показателей дизеля 2Ч 10,5/12,0 при работе на метаноле // Тракторы и сельхозмашины. 2007. № 3. с. 4–5.
6. Лиханов, В. А., Чувашев А. Н., Глухов А. А., Анфилатов А. А. Улучшение эффективных и экологических показателей дизеля при работе на метаноле // Тракторы и сельхозмашины. 2007. № 4. с. 10–13.
7. Анфилатов, А. А. Влияние метанола на оксиды азота при сгорании в цилиндре дизеля // Молодой ученый. 2015. № 9 (89). с. 151–154.
8. Анфилатов, А. А. Химизм процесса образования оксидов азота в цилиндре дизеля при работе на метаноле // Молодой ученый. 2015. № 10 (90). с. 139–142.
9. Анфилатов, А. А. Теоретические расчеты объемного содержания оксидов азота в цилиндре дизеля при работе на метаноле для номинальной частоты вращения // Молодой ученый. 2015. № 10 (90). с. 142–145.
10. Лиханов, В. А., Анфилатов А. А. Исследование применения метанола в дизеле на оптимальных установочных углах // Современная наука: актуальные проблемы и пути их решения. 2015. № 4 (17). с. 42–44.
11. Анфилатов, А. А. Химизм процесса образования оксидов азота в цилиндре дизеля с воздушным охлаждением // Современная наука: актуальные проблемы и пути их решения. 2015. № 4 (17). с. 45–47.
12. Анфилатов, А. А. Исследование токсичности на скоростном режиме дизеля при работе на метаноле // Современная наука: актуальные проблемы и пути их решения. 2015. № 4 (17). с. 47–50.
13. Анфилатов, А. А. Исследование дымности в отработавших газах дизеля при работе на метаноле // Современная наука: актуальные проблемы и пути их решения. 2015. № 4 (17). с. 50–53.
14. Анфилатов, А. А. Особенности экспериментальной установки для исследования рабочего процесса дизеля при работе на метаноле // Молодой ученый. 2015. № 11 (91). с. 223–225.
15. Анфилатов, А. А. Результаты объемного содержания оксидов азота в цилиндре дизеля при работе на метаноле // Молодой ученый. 2015. № 11 (91). с. 226–228.
16. Анфилатов, А. А. Особенности расчета периода задержки воспламенения при работе дизеля на метаноле // Молодой ученый. 2015. № 11 (91). с. 229–231.
17. Анфилатов, А. А. Теоретические расчеты содержания оксидов азота в цилиндре дизеля // Молодой ученый. 2015. № 11 (91). с. 232–234.
18. Анфилатов, А. А. Расчет содержания оксидов азота в цилиндре дизеля с воздушным охлаждением при работе на метаноле // Молодой ученый. 2015. № 11 (91). с. 235–237.
19. Анфилатов, А. А. Изменение экономических показателей дизеля при работе на метаноле // Молодой ученый. 2015. № 11 (91). с. 238–240.
20. Лиханов, В. А., Лопатин О. П. Образование и нейтрализация оксидов азота в цилиндре газодизеля: Монография. — Киров: Вятская ГСХА, 2004. — 106 с
21. Лиханов, В. А., Лопатин О. П. Улучшение экологических показателей дизеля 4Ч 11,0/12,5 путем применения природного газа и рециркуляции // Транспорт на альтернативном топливе. 2014. № 4 (40). с. 21–25.
22. Лиханов, В. А., Лопатин О. П. Применение природного газа и рециркуляции на тракторном дизеле 4Ч 11,0/12,5 // Тракторы и сельхозмашины. 2014. № 6. с. 7–9.
23. Лиханов, В. А., Лопатин О. П. Улучшение экологических показателей дизеля путем применения этанола-топливной эмульсии // Тракторы и сельхозмашины. 2013. № 2. с. 6–7.
24. Лиханов, В. А., Лопатин О. П. Улучшение эксплуатационных показателей тракторного дизеля Д-240 путем применения этанола-топливной эмульсии // Научно-практический журнал Пермский аграрный вестник: 2013. № 1 (1). с. 29–32.
25. Лопатин, О. П. Применение природного газа и рециркуляции отработавших газов для снижения токсичности тракторного дизеля // Молодой ученый. 2015. № 6–5 (86). с. 11–13.

26. Лопатин, О.П. Зонная модель процесса образования оксидов азота в цилиндре газодизеля с турбонаддувом // Молодой ученый. 2015. № 9 (89). с. 261–265.
27. Лопатин, О.П. Химизм процесса образования оксидов азота в цилиндре газодизеля с турбонаддувом // Молодой ученый. 2015. № 9 (89). с. 265–268.
28. Лиханов, В.А. Улучшение эксплуатационных показателей тракторных дизелей путем применения альтернативных топлив. Диссертация на соискание ученой степени доктора технических наук/Киров, 1999.
29. Лиханов, В.А. Улучшение эксплуатационных показателей тракторных дизелей путем применения альтернативных топлив. Автореферат диссертации на соискание ученой степени доктора технических наук/Санкт-Петербург, 1999.
30. Лиханов, В.А., Полевщиков А.С. Определение оптимальных углов опережения впрыскивания топлив при работе дизеля на этаноле // Транспорт на альтернативном топливе. 2014. № 5 (41). с. 62–64.
31. Лиханов, В.А., Полевщиков А.С. Особенности развития топливных факелов в цилиндре дизеля при работе дизеля на этаноле // Транспорт на альтернативном топливе. 2013. № 1 (31). с. 62–65.
32. Скрыбин, М.Л. Улучшение экологических показателей дизеля 4ЧН 11,0/12,5 с промежуточным охлаждением наддувочного воздуха при работе на природном газе путем снижения содержания оксидов азота в отработавших газах. Диссертация на соискание ученой степени кандидата технических наук/Киров, 2009. — 202 с.

Способы снижения содержания оксидов азота в отработавших газах дизелей

Скрыбин Максим Леонидович, кандидат технических наук, доцент
Вятская государственная сельскохозяйственная академия (г. Киров)

В данной статье рассмотрены способы снижения содержания оксидов азота в отработавших газах дизелей.
Ключевые слова: отработавшие газы, загрязнение воздуха, токсичные компоненты, оксиды азота.

Количество образующихся в цилиндре дизеля оксидов азота зависит в первую очередь от температуры в КС дизеля и ее конструктивного исполнения, характеристик топлива и длительности рабочих процессов. Источниками оксидов азота в ходе химических реакций являются молекулярный азот воздуха, используемый в качестве окислителя при горении, и азотсодержащие компоненты топлива (если в топливе имеется химически связанный азот). В связи с этим принято делить оксиды азота на воздушные и топливные. Воздушные, в свою очередь, можно разделить на термические, образующиеся при высоких температурах за счет окисления молекулярного азота атомарным кислородом (механизм Я.Б. Зельдовича), и так называемые быстрые оксиды азота, образующиеся в зоне сравнительно низких температур в результате реакции углеводородных радикалов с молекулой азота и последующего взаимодействия атомарного азота с гидроксидом ОН.

Фронт огня, распространяющийся по КС, достигает температуры около 3000 К. При такой температуре концентрация NO составила бы не менее 5%. При температуре окружающей среды оксиды азота термодинамически неустойчивы и распадаются на кислород и азот, но скорость этого процесса очень низка. Таким образом, оксид азота достаточно стабилен и выделяется вместе с ОГ.

Решение проблемы снижения содержания оксидов азота связано с совершенствованием рабочих процессов, технического обслуживания, развитием систем нейтрализации отработавших газов [1–14].

На сегодняшний день наиболее эффективными методами снижения содержания оксидов азота в ОГ являются [15–22]:

- изменение установочного УОВТ (его уменьшение приводит к снижению уровня NO_x , но влечет за собой увеличение удельного расхода топлива);
- изменение степени сжатия (увеличение степени сжатия приводит к снижению содержания NO_x);
- повышение давления впрыскивания (увеличение числа сопловых отверстий распылителя форсунки с одновременным уменьшением их диаметра приводит к более однородному распыливанию топлива и улучшению смеобразования, в результате чего в цилиндре дизеля получается меньшая неоднородность температурного поля и происходит снижение выходных концентраций NO_x);
- изменение параметров давления и температуры воздуха на впуске и коэффициента избытка воздуха (с увеличением давления наддувочного воздуха, уменьшением его температуры, происходит снижение выбросов NO_x);
- совместное использование турбонаддува и ПОНВ (увеличивается скорость охлаждения продуктов сгорания, так как топливовоздушная смесь, поступающая в цилиндр, имеет более низкую температуру);
- применение альтернативных видов топлива (наиболее распространенное из альтернативных топлив на сегодня — компримированный природный газ);
- применение каталитических нейтрализаторов и других средств очистки ОГ;

— использование рециркуляции ОГ (замещение части воздушного заряда, поступающего в цилиндр дизеля, охлажденными ОГ);

— подача воды на впуске (происходит снижение локальных температур цикла, приводящее к меньшей температурной неоднородности в цилиндре дизеля);

— замена воздуха кислородом (исключение из окислителя азотистых соединений, т.е. отсутствие реакции окисления молекулярного азота атомарным кислородом);

— применение присадок к топливу.

Известным способом снижения содержания оксидов азота в ОГ дизеля является впрыскивание водотопливных эмульсий (ВТЭ). С понижением температуры

цикла снижается выход «термических» оксидов азота. На данный момент в достаточной мере исследованы и отработаны способы и средства, использующие воду при формировании топливо-воздушного заряда в составе водотопливной эмульсии, или при её подаче в жидком виде в цилиндры ДВС либо во впускной трубопровод. Вместе с тем, с точки зрения применения на тракторах малых классов, эти известные средства в большинстве своем относительно сложны, что ставит под вопрос их реализацию на указанных объектах. Наряду с этим при формировании топливо-воздушной смеси считается целесообразным использование воды в виде пара [23–32].

Литература:

1. Анфилатов, А. А. Снижение содержания оксидов азота в отработавших газах дизеля 2Ч 10,5/12,0 путём применения метанола с двойной системы топливоподачи. Диссертация на соискание ученой степени кандидата технических наук/Киров, 2009. — 184 с.
2. Анфилатов, А. А., Лиханов В. А., Лопатин О. П. Исследование процессов образования и разложения оксидов азота в цилиндре дизеля 2Ч 10,5/12,0 путем применения метанола с двойной системой топливоподачи: Монография. — Киров, 2008. — 156 с.
3. Лиханов, В. А., Анфилатов А. А. Изменение образования оксидов азота в цилиндре дизеля при работе на метаноле // Тракторы и сельхозмашины. 2015. № 4. с. 3–5.
4. Лиханов, В. А., Лопатин О. П., Анфилатов А. А. Снижение содержания оксидов азота в отработавших газах дизеля путём применения метанола с использованием двойной системы топливоподачи // Тракторы и сельхозмашины. 2012. № 5. с. 5–8.
5. Лиханов, В. А., Чувашев А. Н., Глухов А. А., Анфилатов А. А. Улучшение экологических показателей дизеля 2Ч 10,5/12,0 при работе на метаноле // Тракторы и сельхозмашины. 2007. № 3. с. 4–5.
6. Лиханов, В. А., Чувашев А. Н., Глухов А. А., Анфилатов А. А. Улучшение эффективных и экологических показателей дизеля при работе на метаноле // Тракторы и сельхозмашины. 2007. № 4. с. 10–13.
7. Анфилатов, А. А. Влияние метанола на оксиды азота при сгорании в цилиндре дизеля // Молодой ученый. 2015. № 9 (89). с. 151–154.
8. Анфилатов, А. А. Химизм процесса образования оксидов азота в цилиндре дизеля при работе на метаноле // Молодой ученый. 2015. № 10 (90). с. 139–142.
9. Анфилатов, А. А. Теоретические расчеты объемного содержания оксидов азота в цилиндре дизеля при работе на метаноле для номинальной частоты вращения // Молодой ученый. 2015. № 10 (90). с. 142–145.
10. Лиханов, В. А., Анфилатов А. А. Исследование применения метанола в дизеле на оптимальных установочных углах // Современная наука: актуальные проблемы и пути их решения. 2015. № 4 (17). с. 42–44.
11. Анфилатов, А. А. Химизм процесса образования оксидов азота в цилиндре дизеля с воздушным охлаждением // Современная наука: актуальные проблемы и пути их решения. 2015. № 4 (17). с. 45–47.
12. Анфилатов, А. А. Исследование токсичности на скоростном режиме дизеля при работе на метаноле // Современная наука: актуальные проблемы и пути их решения. 2015. № 4 (17). с. 47–50.
13. Анфилатов, А. А. Исследование дымности в отработавших газах дизеля при работе на метаноле // Современная наука: актуальные проблемы и пути их решения. 2015. № 4 (17). с. 50–53.
14. Анфилатов, А. А. Особенности экспериментальной установки для исследования рабочего процесса дизеля при работе на метаноле // Молодой ученый. 2015. № 11 (91). с. 223–225.
15. Анфилатов, А. А. Результаты объемного содержания оксидов азота в цилиндре дизеля при работе на метаноле // Молодой ученый. 2015. № 11 (91). с. 226–228.
16. Анфилатов, А. А. Особенности расчета периода задержки воспламенения при работе дизеля на метаноле // Молодой ученый. 2015. № 11 (91). с. 229–231.
17. Анфилатов, А. А. Теоретические расчеты содержания оксидов азота в цилиндре дизеля // Молодой ученый. 2015. № 11 (91). с. 232–234.
18. Анфилатов, А. А. Расчет содержания оксидов азота в цилиндре дизеля с воздушным охлаждением при работе на метаноле // Молодой ученый. 2015. № 11 (91). с. 235–237.

19. Анфилатов, А. А. Изменение экономических показателей дизеля при работе на метаноле // Молодой ученый. 2015. № 11 (91). с. 238–240.
20. Лиханов, В. А., Лопатин О. П. Образование и нейтрализация оксидов азота в цилиндре газодизеля: Монография. — Киров: Вятская ГСХА, 2004. — 106 с
21. Лиханов, В. А., Лопатин О. П. Улучшение экологических показателей дизеля 4Ч 11,0/12,5 путем применения природного газа и рециркуляции // Транспорт на альтернативном топливе. 2014. № 4 (40). с. 21–25.
22. Лиханов, В. А., Лопатин О. П. Применение природного газа и рециркуляции на тракторном дизеле 4Ч 11,0/12,5 // Тракторы и сельхозмашины. 2014. № 6. с. 7–9.
23. Лиханов, В. А., Лопатин О. П. Улучшение экологических показателей дизеля путем применения этанола-топливной эмульсии // Тракторы и сельхозмашины. 2013. № 2. с. 6–7.
24. Лиханов, В. А., Лопатин О. П. Улучшение эксплуатационных показателей тракторного дизеля Д-240 путем применения этанола-топливной эмульсии // Научно-практический журнал Пермский аграрный вестник: 2013. № 1 (1). с. 29–32.
25. Лопатин, О. П. Применение природного газа и рециркуляции отработавших газов для снижения токсичности тракторного дизеля // Молодой ученый. 2015. № 6–5 (86). с. 11–13.
26. Лопатин, О. П. Зонная модель процесса образования оксидов азота в цилиндре газодизеля с турбонаддувом // Молодой ученый. 2015. № 9 (89). с. 261–265.
27. Лопатин, О. П. Химизм процесса образования оксидов азота в цилиндре газодизеля с турбонаддувом // Молодой ученый. 2015. № 9 (89). с. 265–268.
28. Лиханов, В. А. Улучшение эксплуатационных показателей тракторных дизелей путем применения альтернативных топлив. Диссертация на соискание ученой степени доктора технических наук/Киров, 1999.
29. Лиханов, В. А. Улучшение эксплуатационных показателей тракторных дизелей путем применения альтернативных топлив. Автореферат диссертации на соискание ученой степени доктора технических наук/Санкт-Петербург, 1999.
30. Лиханов, В. А., Полевщиков А. С. Определение оптимальных углов опережения впрыскивания топлив при работе дизеля на этаноле // Транспорт на альтернативном топливе. 2014. № 5 (41). с. 62–64.
31. Лиханов, В. А., Полевщиков А. С. Особенности развития топливных факелов в цилиндре дизеля при работе дизеля на этаноле // Транспорт на альтернативном топливе. 2013. № 1 (31). с. 62–65.
32. Скрыбин, М. Л. Улучшение экологических показателей дизеля 4ЧН 11,0/12,5 с промежуточным охлаждением наддувочного воздуха при работе на природном газе путем снижения содержания оксидов азота в отработавших газах. Диссертация на соискание ученой степени кандидата технических наук/Киров, 2009. — 202 с.

Комплексные системы очистки отработавших газов дизелей

Скрыбин Максим Леонидович, кандидат технических наук, доцент
Вятская государственная сельскохозяйственная академия (г. Киров)

В данной статье рассмотрены комплексные системы очистки отработавших газов дизелей.

Ключевые слова: *отработавшие газы, загрязнение воздуха, токсичные компоненты, оксиды азота.*

Основная масса токсичных веществ дизелей выбрасывается в окружающий воздух вместе с отработавшими газами (ОГ). Вредные вещества выделяются также с картерными газами и в результате испарения топлива, смазочных масел, охлаждающих жидкостей. Однако общий объем вредных веществ, выделяемых со всеми этими газами, не превышает 3% от выбросов ОГ, поэтому именно снижению концентрации вредных веществ в ОГ необходимо уделять особое внимание [1–16].

На сегодняшний день методы по снижению содержания оксидов азота можно разделить на четыре группы [17–25]:

1-я группа — очистка продуктов сгорания от оксидов азота (восстановление оксидов азота с помощью катализаторов);

2-я группа — уменьшение образования оксидов азота за счет конструктивных изменений, регулировок двигателя и топливоподающей аппаратуры;

3-я группа — изменение состава топливовоздушной смеси и вида топлива с изменением процесса сгорания;

4-я группа — снижение температуры цикла в КС, уменьшение температурной и концентрационной неоднородности за счет применения предварительно перемешанных топливовоздушных смесей.

Следует отметить, что в настоящее время не существует комплексной оценки эффективности методов улучшения экологических показателей дизелей. Представляется целесообразным в комплексной оценке учитывать стоимость самих устройств и величину предотвращенного ущерба. Имеющиеся методики позволяют сделать только относительные оценки эффективности средств снижения выбросов, поэтому дальнейшей задачей является создание системы комплексной оценки предлагаемых методов и средств снижения токсичности ОГ дизелей при их эксплуатации. Использование малотоксичных рабочих процессов может существенно влиять на выброс в атмосферу оксидов азота.

Большинство комплексных систем очистки ОГ дизелей состоят из монолитных катализаторов, каталитических и жидкостных нейтрализаторов. Однако массовое применение монолитных катализаторов сдерживается некоторыми проблемами. Во-первых, обычно в этих условиях катализаторами с активной поверхностью являются платиновые (Pt) или палладиевые (Pd) катализаторы. Эти благородные металлы окисляются и испаряются при температурах порядка 1500 К. Следовательно, длительная работа катализаторов из благородных металлов при температурах выше 1300 К приводит к неприемлемо высокой скорости потери катализатора. Если изменение режимов горения и применение монолитных катализаторов недостаточно эффективны либо вообще

невозможны, то для снижения выхода NO_x необходимо использовать процессы дожигания. Наиболее хорошо известный способ снижения выхода — каталитический дожигатель выхлопных газов, которым оснащены системы выхлопа многих автомобилей. Катализатор является комбинацией благородных металлов, которые восстанавливают NO_x до N_2 . Основным элементом, обеспечивающим успешное функционирование каталитического дожигателя выхлопных газов, является λ — датчик, который определяет содержание кислорода в ОГ. Если в ОГ детектируются молекулы кислорода, электронная схема обратной связи двигателя несколько увеличивает скорость подачи топлива, а если кислорода в ОГ вообще не обнаруживается, скорость подачи топлива несколько уменьшается [26–32].

Существуют также эффективные системы очистки ОГ, которые одновременно обезвреживает и канцерогенные частицы сажи и вредные оксиды азота. Основой является микропористый керамический фильтр, покрытый слоем накапливающего азот материала и катализатором на основе платины. Во время работы двигателя на бедной смеси частицы сажи окисляются атомарным кислородом, освобождающимся при соединении NO и O_2 из ОГ в процессе накопления NO_x . Такие системы очистки показали снижение содержания сажи и NO_x на 80 %, но применимы они лишь для дизелей последнего поколения, работающих с системой «Common rail» [26–32].

Литература:

1. Анфилатов, А. А. Снижение содержания оксидов азота в отработавших газах дизеля 2Ч 10,5/12,0 путём применения метанола с двойной системы топливоподачи. Диссертация на соискание ученой степени кандидата технических наук/Киров, 2009. — 184 с.
2. Анфилатов, А. А., Лиханов В. А., Лопатин О. П. Исследование процессов образования и разложения оксидов азота в цилиндре дизеля 2Ч 10,5/12,0 путем применения метанола с двойной системой топливоподачи: Монография. — Киров, 2008. — 156 с.
3. Лиханов, В. А., Анфилатов А. А. Изменение образования оксидов азота в цилиндре дизеля при работе на метаноле // Тракторы и сельхозмашины. 2015. № 4. с. 3–5.
4. Лиханов, В. А., Лопатин О. П., Анфилатов А. А. Снижение содержания оксидов азота в отработавших газах дизеля путём применения метанола с использованием двойной системы топливоподачи // Тракторы и сельхозмашины. 2012. № 5. с. 5–8.
5. Лиханов, В. А., Чувашев А. Н., Глухов А. А., Анфилатов А. А. Улучшение экологических показателей дизеля 2Ч 10,5/12,0 при работе на метаноле // Тракторы и сельхозмашины. 2007. № 3. с. 4–5.
6. Лиханов, В. А., Чувашев А. Н., Глухов А. А., Анфилатов А. А. Улучшение эффективных и экологических показателей дизеля при работе на метаноле // Тракторы и сельхозмашины. 2007. № 4. с. 10–13.
7. Анфилатов, А. А. Влияние метанола на оксиды азота при сгорании в цилиндре дизеля // Молодой ученый. 2015. № 9 (89). с. 151–154.
8. Анфилатов, А. А. Химизм процесса образования оксидов азота в цилиндре дизеля при работе на метаноле // Молодой ученый. 2015. № 10 (90). с. 139–142.
9. Анфилатов, А. А. Теоретические расчеты объемного содержания оксидов азота в цилиндре дизеля при работе на метаноле для номинальной частоты вращения // Молодой ученый. 2015. № 10 (90). с. 142–145.
10. Лиханов, В. А., Анфилатов А. А. Исследование применения метанола в дизеле на оптимальных установочных углах // Современная наука: актуальные проблемы и пути их решения. 2015. № 4 (17). с. 42–44.
11. Анфилатов, А. А. Химизм процесса образования оксидов азота в цилиндре дизеля с воздушным охлаждением // Современная наука: актуальные проблемы и пути их решения. 2015. № 4 (17). с. 45–47.

12. Анфилатов, А. А. Исследование токсичности на скоростном режиме дизеля при работе на метаноле // Современная наука: актуальные проблемы и пути их решения. 2015. № 4 (17). с. 47–50.
13. Анфилатов, А. А. Исследование дымности в отработавших газах дизеля при работе на метаноле // Современная наука: актуальные проблемы и пути их решения. 2015. № 4 (17). с. 50–53.
14. Анфилатов, А. А. Особенности экспериментальной установки для исследования рабочего процесса дизеля при работе на метаноле // Молодой ученый. 2015. № 11 (91). с. 223–225.
15. Анфилатов, А. А. Результаты объемного содержания оксидов азота в цилиндре дизеля при работе на метаноле // Молодой ученый. 2015. № 11 (91). с. 226–228.
16. Анфилатов, А. А. Особенности расчета периода задержки воспламенения при работе дизеля на метаноле // Молодой ученый. 2015. № 11 (91). с. 229–231.
17. Анфилатов, А. А. Теоретические расчеты содержания оксидов азота в цилиндре дизеля // Молодой ученый. 2015. № 11 (91). с. 232–234.
18. Анфилатов, А. А. Расчет содержания оксидов азота в цилиндре дизеля с воздушным охлаждением при работе на метаноле // Молодой ученый. 2015. № 11 (91). с. 235–237.
19. Анфилатов, А. А. Изменение экономических показателей дизеля при работе на метаноле // Молодой ученый. 2015. № 11 (91). с. 238–240.
20. Лиханов, В. А., Лопатин О. П. Образование и нейтрализация оксидов азота в цилиндре газодизеля: Монография. — Киров: Вятская ГСХА, 2004. — 106 с
21. Лиханов, В. А., Лопатин О. П. Улучшение экологических показателей дизеля 4Ч 11,0/12,5 путем применения природного газа и рециркуляции // Транспорт на альтернативном топливе. 2014. № 4 (40). с. 21–25.
22. Лиханов, В. А., Лопатин О. П. Применение природного газа и рециркуляции на тракторном дизеле 4Ч 11,0/12,5 // Тракторы и сельхозмашины. 2014. № 6. с. 7–9.
23. Лиханов, В. А., Лопатин О. П. Улучшение экологических показателей дизеля путем применения этанола-топливной эмульсии // Тракторы и сельхозмашины. 2013. № 2. с. 6–7.
24. Лиханов, В. А., Лопатин О. П. Улучшение эксплуатационных показателей тракторного дизеля Д-240 путем применения этанола-топливной эмульсии // Научно-практический журнал Пермский аграрный вестник: 2013. № 1 (1). с. 29–32.
25. Лопатин, О. П. Применение природного газа и рециркуляции отработавших газов для снижения токсичности тракторного дизеля // Молодой ученый. 2015. № 6–5 (86). с. 11–13.
26. Лопатин, О. П. Зонная модель процесса образования оксидов азота в цилиндре газодизеля с турбонаддувом // Молодой ученый. 2015. № 9 (89). с. 261–265.
27. Лопатин, О. П. Химизм процесса образования оксидов азота в цилиндре газодизеля с турбонаддувом // Молодой ученый. 2015. № 9 (89). с. 265–268.
28. Лиханов, В. А. Улучшение эксплуатационных показателей тракторных дизелей путем применения альтернативных топлив. Диссертация на соискание ученой степени доктора технических наук/Киров, 1999.
29. Лиханов, В. А. Улучшение эксплуатационных показателей тракторных дизелей путем применения альтернативных топлив. Автореферат диссертации на соискание ученой степени доктора технических наук/Санкт-Петербург, 1999.
30. Лиханов, В. А., Полевщиков А. С. Определение оптимальных углов опережения впрыскивания топлив при работе дизеля на этаноле // Транспорт на альтернативном топливе. 2014. № 5 (41). с. 62–64.
31. Лиханов, В. А., Полевщиков А. С. Особенности развития топливных факелов в цилиндре дизеля при работе дизеля на этаноле // Транспорт на альтернативном топливе. 2013. № 1 (31). с. 62–65.
32. Скрябин, М. Л. Улучшение экологических показателей дизеля 4ЧН 11,0/12,5 с промежуточным охлаждением наддувочного воздуха при работе на природном газе путем снижения содержания оксидов азота в отработавших газах. Диссертация на соискание ученой степени кандидата технических наук/Киров, 2009. — 202 с.

Методы селективного некаталитического восстановления оксидов азота в отработавших газах дизелей

Скрябин Максим Леонидович, кандидат технических наук, доцент
Вятская государственная сельскохозяйственная академия (г. Киров)

В данной статье рассмотрены методы селективного некаталитического восстановления оксидов азота в отработавших газах дизелей.

Ключевые слова: *отработавшие газы, загрязнение воздуха, токсичные компоненты, оксиды азота, рециркуляция отработавших газов.*

На сегодняшний день известны методы селективного некаталитического восстановления NO_x до N_2 , которые широко используются везде, где это возможно. В этом случае аммиак (NH_3) добавляется в поток ОГ и при достаточно высокой температуре реагирует с OH , с образованием NH_2 . NO реагирует с NH_2 с образованием H_2O и N_2 [1–14]. Наиболее важные элементарные реакции этого процесса представлены на рис. 1.

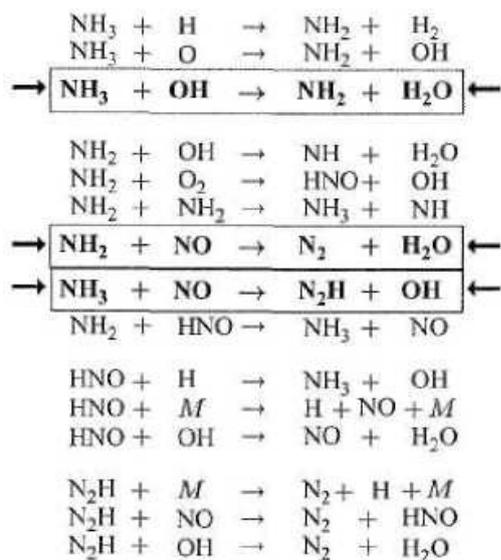


Рис. 1. Основные реакции восстановления NO_x аммиаком

Для восстановления оксидов азота было реализовано создание нейтрализатора, в который поступал аммиак за счёт эжекции газового потока. При исследованиях дизелей, укомплектованных нейтрализатором с системой подачи аммиака, установлено, что наибольшая степень вос-

становления оксидов азота равна 90%. Необходимое условие восстановления оксидов азота аммиаком — температура 900...950°C. Этот способ не нашёл большого применения из-за отсутствия организации контроля за проскоком не прореагировавшего аммиака и образования в очень заметных количествах гемиоксида азота N_2O [15–21,32].

Известен способ уменьшения токсичности ОГ путем применения газоразделительных мембран. В систему выпуска воздуха в двигателях внутреннего сгорания между воздушным фильтром и впускным устанавливают газоразделительные мембраны из поливинилтриметилсилана марок С-3.5М-А ТУ 6–05–111–353–88 или С-3.5М ТУ 6–05–111–88, производящие газоразделение по газам азот — кислород. Идентичные устройства устанавливают в системе рециркуляции ОГ двигателей и проводят замену менее сильного окислителя — кислорода на более сильный — озон, для чего за газоразделительным устройством устанавливают озонатор и инициируют распад озона на атомарный кислород и молекулярный кислород фотовозбуждением. Снижение дымности ОГ составляет 18...38%, NO_x 36...48%, CO_2 28...42%, CH — 32...43%, альдегидов 32...51%, бенз(α)пирена 23...34% [22–32].

Большее применение для снижения токсичности ОГ, в первую очередь, оксидов азота, получила рециркуляция ОГ. Основная задача рециркуляции ОГ — снижение выбросов NO_x . Это особенно важно, когда в нейтрализаторе (или при его отсутствии) не обеспечено точное поддержание состава смеси. Рециркуляция предполагает отбор ОГ в количестве до 20% и подачу их на вход двигателя на режимах средних и полных нагрузок. Повышенное количество рециркулируемых газов вызывает более высокие выбросы сажи и оксида углерода из-за недостатка воздуха в смеси. Поэтому количество рециркулируемых ОГ должно быть ограничено [22–32].

Литература:

1. Анфилатов, А. А. Снижение содержания оксидов азота в отработавших газах дизеля 2Ч 10,5/12,0 путём применения метанола с двойной системы топливоподачи. Диссертация на соискание ученой степени кандидата технических наук/Киров, 2009. — 184 с.
2. Анфилатов, А. А., Лиханов В. А., Лопатин О. П. Исследование процессов образования и разложения оксидов азота в цилиндре дизеля 2Ч 10,5/12,0 путем применения метанола с двойной системой топливоподачи: Монография. — Киров, 2008. — 156 с.

3. Лиханов, В. А., Анфилатов А. А. Изменение образования оксидов азота в цилиндре дизеля при работе на метаноле // Тракторы и сельхозмашины. 2015. № 4. с. 3–5.
4. Лиханов, В. А., Лопатин О. П., Анфилатов А. А. Снижение содержания оксидов азота в отработавших газах дизеля путём применения метанола с использованием двойной системы топливоподачи // Тракторы и сельхозмашины. 2012. № 5. с. 5–8.
5. Лиханов, В. А., Чувашев А. Н., Глухов А. А., Анфилатов А. А. Улучшение экологических показателей дизеля 2Ч 10,5/12,0 при работе на метаноле // Тракторы и сельхозмашины. 2007. № 3. с. 4–5.
6. Лиханов, В. А., Чувашев А. Н., Глухов А. А., Анфилатов А. А. Улучшение эффективных и экологических показателей дизеля при работе на метаноле // Тракторы и сельхозмашины. 2007. № 4. с. 10–13.
7. Анфилатов, А. А. Влияние метанола на оксиды азота при сгорании в цилиндре дизеля // Молодой ученый. 2015. № 9 (89). с. 151–154.
8. Анфилатов, А. А. Химизм процесса образования оксидов азота в цилиндре дизеля при работе на метаноле // Молодой ученый. 2015. № 10 (90). с. 139–142.
9. Анфилатов, А. А. Теоретические расчеты объемного содержания оксидов азота в цилиндре дизеля при работе на метаноле для номинальной частоты вращения // Молодой ученый. 2015. № 10 (90). с. 142–145.
10. Лиханов, В. А., Анфилатов А. А. Исследование применения метанола в дизеле на оптимальных установочных углах // Современная наука: актуальные проблемы и пути их решения. 2015. № 4 (17). с. 42–44.
11. Анфилатов, А. А. Химизм процесса образования оксидов азота в цилиндре дизеля с воздушным охлаждением // Современная наука: актуальные проблемы и пути их решения. 2015. № 4 (17). с. 45–47.
12. Анфилатов, А. А. Исследование токсичности на скоростном режиме дизеля при работе на метаноле // Современная наука: актуальные проблемы и пути их решения. 2015. № 4 (17). с. 47–50.
13. Анфилатов, А. А. Исследование дымности в отработавших газах дизеля при работе на метаноле // Современная наука: актуальные проблемы и пути их решения. 2015. № 4 (17). с. 50–53.
14. Анфилатов, А. А. Особенности экспериментальной установки для исследования рабочего процесса дизеля при работе на метаноле // Молодой ученый. 2015. № 11 (91). с. 223–225.
15. Анфилатов, А. А. Результаты объемного содержания оксидов азота в цилиндре дизеля при работе на метаноле // Молодой ученый. 2015. № 11 (91). с. 226–228.
16. Анфилатов, А. А. Особенности расчета периода задержки воспламенения при работе дизеля на метаноле // Молодой ученый. 2015. № 11 (91). с. 229–231.
17. Анфилатов, А. А. Теоретические расчеты содержания оксидов азота в цилиндре дизеля // Молодой ученый. 2015. № 11 (91). с. 232–234.
18. Анфилатов, А. А. Расчет содержания оксидов азота в цилиндре дизеля с воздушным охлаждением при работе на метаноле // Молодой ученый. 2015. № 11 (91). с. 235–237.
19. Анфилатов, А. А. Изменение экономических показателей дизеля при работе на метаноле // Молодой ученый. 2015. № 11 (91). с. 238–240.
20. Лиханов, В. А., Лопатин О. П. Образование и нейтрализация оксидов азота в цилиндре газодизеля: Монография. — Киров: Вятская ГСХА, 2004. — 106 с
21. Лиханов, В. А., Лопатин О. П. Улучшение экологических показателей дизеля 4Ч 11,0/12,5 путем применения природного газа и рециркуляции // Транспорт на альтернативном топливе. 2014. № 4 (40). с. 21–25.
22. Лиханов, В. А., Лопатин О. П. Применение природного газа и рециркуляции на тракторном дизеле 4Ч 11,0/12,5 // Тракторы и сельхозмашины. 2014. № 6. с. 7–9.
23. Лиханов, В. А., Лопатин О. П. Улучшение экологических показателей дизеля путем применения этанола-топливной эмульсии // Тракторы и сельхозмашины. 2013. № 2. с. 6–7.
24. Лиханов, В. А., Лопатин О. П. Улучшение эксплуатационных показателей тракторного дизеля Д-240 путем применения этанола-топливной эмульсии // Научно-практический журнал Пермский аграрный вестник: 2013. № 1 (1). с. 29–32.
25. Лопатин, О. П. Применение природного газа и рециркуляции отработавших газов для снижения токсичности тракторного дизеля // Молодой ученый. 2015. № 6–5 (86). с. 11–13.
26. Лопатин, О. П. Зонная модель процесса образования оксидов азота в цилиндре газодизеля с турбонаддувом // Молодой ученый. 2015. № 9 (89). с. 261–265.
27. Лопатин, О. П. Химизм процесса образования оксидов азота в цилиндре газодизеля с турбонаддувом // Молодой ученый. 2015. № 9 (89). с. 265–268.
28. Лиханов, В. А. Улучшение эксплуатационных показателей тракторных дизелей путем применения альтернативных топлив. Диссертация на соискание ученой степени доктора технических наук/Киров, 1999.
29. Лиханов, В. А. Улучшение эксплуатационных показателей тракторных дизелей путем применения альтернативных топлив. Автореферат диссертации на соискание ученой степени доктора технических наук/Санкт-Петербург, 1999.

- 30. Лиханов, В. А., Полевщиков А. С. Определение оптимальных углов опережения впрыскивания топлив при работе дизеля на этаноле // Транспорт на альтернативном топливе. 2014. № 5 (41). с. 62–64.
- 31. Лиханов, В. А., Полевщиков А. С. Особенности развития топливных факелов в цилиндре дизеля при работе дизеля на этаноле // Транспорт на альтернативном топливе. 2013. № 1 (31). с. 62–65.
- 32. Скрябин, М. Л. Улучшение экологических показателей дизеля 4ЧН 11,0/12,5 с промежуточным охлаждением наддувочного воздуха при работе на природном газе путем снижения содержания оксидов азота в отработавших газах. Диссертация на соискание ученой степени кандидата технических наук/Киров, 2009. — 202 с.

Снижение токсичности отработавших газов дизелей путем применения турбонаддува и промежуточного охлаждения наддувочного воздуха

Скрябин Максим Леонидович, кандидат технических наук, доцент
Вятская государственная сельскохозяйственная академия (г. Киров)

В данной статье рассмотрены методы снижения токсичности отработавших газов дизелей, путем применения турбонаддува и промежуточного охлаждения наддувочного воздуха.

Ключевые слова: *отработавшие газы, загрязнение воздуха, токсичные компоненты, оксиды азота, турбонаддув, промежуточное охлаждение наддувочного воздуха.*

В последнее десятилетие одним из способов снижения токсичности отработавших газов (ОГ) стало применение турбонаддува с промежуточным охлаждением наддувочного воздуха (ПОНВ). Чем ниже температура воздушного заряда, тем ниже температура сгорания с пропорциональным увеличением выбросов оксидов азота. На двигателях с турбонаддувом охлаждение сжатого воздуха на впуске (промежуточное охлаждение) представляет эффективный способ снижения NO_x .

Дизели с турбонаддувом и ПОНВ работают, как правило на границе термической и механической напряженности определенных деталей. Количество выделяемой сажи, отнесенное к мощности, меньше благодаря более высокому коэффициенту избытка воздуха. С применением наддува уменьшается содержание в ОГ оксида углерода CO , углеводородов C_nH_m и оксидов азота NO_x на единицу мощности. В качестве примера на рис. 1 графически изображены результаты измерений на ав-

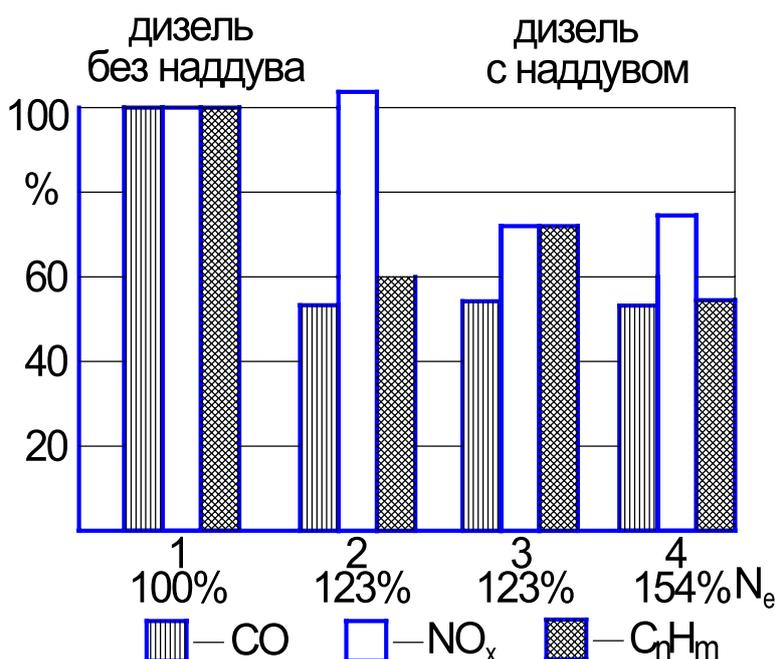


Рис. 1. Влияние наддува и ПОНВ на токсичность ОГ: 1 — без наддува; 2 — с наддувом; 3 и 4 — с наддувом и ПОНВ

томобильном дизеле, как без наддува, так и с наддувом. Как следует из графика, выделение СО благодаря применению наддува снижается приблизительно и почти не зависит от устанавливаемой максимальной нагрузки; выделение NO_x у двигателя с наддувом без ПОНВ несколько выше, чем у двигателя со свободным всасыванием, однако вдвое у двигателя, имеющего ПОНВ, эта величина снижается. Выделение C_nH_m при использовании наддува и ПОНВ также составляет лишь несколько более половины этой величины у двигателя без наддува [1–18].

На сегодняшний день в мировой экономике начала набирать силу 3-я волна популярности природного газа (ПГ), как моторного топлива. По прогнозам специалистов эта волна достигнет своего высшего уровня к концу первой четверти 21 века. ПГ уже несколько десятилетий считается наиболее перспективным альтернативным видом топлива по своим энергетическим, физико-химическим и экологическим показателям. Можно особо отметить, что ПГ является экологически чистым видом топлива, и его ресурсы не зависят от запасов нефти. По суммарной экологической опасности газовые топлива во много раз превосходят бензин и ДТ.

Природные ресурсы метана на порядок превышают запасы нефти. При этом в случае применения ПГ в качестве моторного топлива практически все добытое из недр может быть использовано по квалифицированному назначению. Нефтяные же топлива получают после переработки, при этом доля светлых нефтепродуктов далека от 100%. Расчеты показывают, что в случае перевода транспортных средств на газовое топливо, топливная безопасность человечества составит не меньше 200 лет, в то время, как ресурсы нефти истощатся за 30–50 лет. Снижение выброса загрязняющих веществ в атмосферу при применении газового топлива определяется теми же свойствами ПГ, что обеспечивают высокую топливную экономичность двигателей [18–26].

Таким образом, наиболее эффективным и экономически оправданным методом снижения содержания оксидов азота в ОГ дизелей является перевод двигателя на ПГ с использованием турбонаддува и ПОНВ. Это позволит снизить содержание NO_x с одновременным уменьшением всего спектра наиболее токсичных компонентов [27–32].

Литература:

1. Анфилатов, А. А. Снижение содержания оксидов азота в отработавших газах дизеля 2Ч 10,5/12,0 путём применения метанола с двойной системы топливоподачи. Диссертация на соискание ученой степени кандидата технических наук/Киров, 2009. — 184 с.
2. Анфилатов, А. А., Лиханов В. А., Лопатин О. П. Исследование процессов образования и разложения оксидов азота в цилиндре дизеля 2Ч 10,5/12,0 путем применения метанола с двойной системой топливоподачи: Монография. — Киров, 2008. — 156 с.
3. Лиханов, В. А., Анфилатов А. А. Изменение образования оксидов азота в цилиндре дизеля при работе на метаноле // Тракторы и сельхозмашины. 2015. № 4. с. 3–5.
4. Лиханов, В. А., Лопатин О. П., Анфилатов А. А. Снижение содержания оксидов азота в отработавших газах дизеля путём применения метанола с использованием двойной системы топливоподачи // Тракторы и сельхозмашины. 2012. № 5. с. 5–8.
5. Лиханов, В. А., Чувашев А. Н., Глухов А. А., Анфилатов А. А. Улучшение экологических показателей дизеля 2Ч 10,5/12,0 при работе на метаноле // Тракторы и сельхозмашины. 2007. № 3. с. 4–5.
6. Лиханов, В. А., Чувашев А. Н., Глухов А. А., Анфилатов А. А. Улучшение эффективных и экологических показателей дизеля при работе на метаноле // Тракторы и сельхозмашины. 2007. № 4. с. 10–13.
7. Анфилатов, А. А. Влияние метанола на оксиды азота при сгорании в цилиндре дизеля // Молодой ученый. 2015. № 9 (89). с. 151–154.
8. Анфилатов, А. А. Химизм процесса образования оксидов азота в цилиндре дизеля при работе на метаноле // Молодой ученый. 2015. № 10 (90). с. 139–142.
9. Анфилатов, А. А. Теоретические расчеты объемного содержания оксидов азота в цилиндре дизеля при работе на метаноле для номинальной частоты вращения // Молодой ученый. 2015. № 10 (90). с. 142–145.
10. Лиханов, В. А., Анфилатов А. А. Исследование применения метанола в дизеле на оптимальных установочных углах // Современная наука: актуальные проблемы и пути их решения. 2015. № 4 (17). с. 42–44.
11. Анфилатов, А. А. Химизм процесса образования оксидов азота в цилиндре дизеля с воздушным охлаждением // Современная наука: актуальные проблемы и пути их решения. 2015. № 4 (17). с. 45–47.
12. Анфилатов, А. А. Исследование токсичности на скоростном режиме дизеля при работе на метаноле // Современная наука: актуальные проблемы и пути их решения. 2015. № 4 (17). с. 47–50.
13. Анфилатов, А. А. Исследование дымности в отработавших газах дизеля при работе на метаноле // Современная наука: актуальные проблемы и пути их решения. 2015. № 4 (17). с. 50–53.
14. Анфилатов, А. А. Особенности экспериментальной установки для исследования рабочего процесса дизеля при работе на метаноле // Молодой ученый. 2015. № 11 (91). с. 223–225.

15. Анфилатов, А. А. Результаты объемного содержания оксидов азота в цилиндре дизеля при работе на метаноле // Молодой ученый. 2015. № 11 (91). с. 226–228.
16. Анфилатов, А. А. Особенности расчета периода задержки воспламенения при работе дизеля на метаноле // Молодой ученый. 2015. № 11 (91). с. 229–231.
17. Анфилатов, А. А. Теоретические расчеты содержания оксидов азота в цилиндре дизеля // Молодой ученый. 2015. № 11 (91). с. 232–234.
18. Анфилатов, А. А. Расчет содержания оксидов азота в цилиндре дизеля с воздушным охлаждением при работе на метаноле // Молодой ученый. 2015. № 11 (91). с. 235–237.
19. Анфилатов, А. А. Изменение экономических показателей дизеля при работе на метаноле // Молодой ученый. 2015. № 11 (91). с. 238–240.
20. Лиханов, В. А., Лопатин О. П. Образование и нейтрализация оксидов азота в цилиндре газодизеля: Монография. — Киров: Вятская ГСХА, 2004. — 106 с
21. Лиханов, В. А., Лопатин О. П. Улучшение экологических показателей дизеля 4Ч 11,0/12,5 путем применения природного газа и рециркуляции // Транспорт на альтернативном топливе. 2014. № 4 (40). с. 21–25.
22. Лиханов, В. А., Лопатин О. П. Применение природного газа и рециркуляции на тракторном дизеле 4Ч 11,0/12,5 // Тракторы и сельхозмашины. 2014. № 6. с. 7–9.
23. Лиханов, В. А., Лопатин О. П. Улучшение экологических показателей дизеля путем применения этанола-топливной эмульсии // Тракторы и сельхозмашины. 2013. № 2. с. 6–7.
24. Лиханов, В. А., Лопатин О. П. Улучшение эксплуатационных показателей тракторного дизеля Д-240 путем применения этанола-топливной эмульсии // Научно-практический журнал Пермский аграрный вестник: 2013. № 1 (1). с. 29–32.
25. Лопатин, О. П. Применение природного газа и рециркуляции отработавших газов для снижения токсичности тракторного дизеля // Молодой ученый. 2015. № 6–5 (86). с. 11–13.
26. Лопатин, О. П. Зонная модель процесса образования оксидов азота в цилиндре газодизеля с турбонаддувом // Молодой ученый. 2015. № 9 (89). с. 261–265.
27. Лопатин, О. П. Химизм процесса образования оксидов азота в цилиндре газодизеля с турбонаддувом // Молодой ученый. 2015. № 9 (89). с. 265–268.
28. Лиханов, В. А. Улучшение эксплуатационных показателей тракторных дизелей путем применения альтернативных топлив. Диссертация на соискание ученой степени доктора технических наук/Киров, 1999.
29. Лиханов, В. А. Улучшение эксплуатационных показателей тракторных дизелей путем применения альтернативных топлив. Автореферат диссертации на соискание ученой степени доктора технических наук/Санкт-Петербург, 1999.
30. Лиханов, В. А., Полевщиков А. С. Определение оптимальных углов опережения впрыскивания топлив при работе дизеля на этаноле // Транспорт на альтернативном топливе. 2014. № 5 (41). с. 62–64.
31. Лиханов, В. А., Полевщиков А. С. Особенности развития топливных факелов в цилиндре дизеля при работе дизеля на этаноле // Транспорт на альтернативном топливе. 2013. № 1 (31). с. 62–65.
32. Скрыбин, М. Л. Улучшение экологических показателей дизеля 4ЧН 11,0/12,5 с промежуточным охлаждением наддувочного воздуха при работе на природном газе путем снижения содержания оксидов азота в отработавших газах. Диссертация на соискание ученой степени кандидата технических наук/Киров, 2009. — 202 с.

Образование группы термических оксидов азота в процессе горения углеводородных топлив

Скрябин Максим Леонидович, кандидат технических наук, доцент
Вятская государственная сельскохозяйственная академия (г. Киров)

В данной статье рассмотрено образование термических оксидов азота в процессе горения углеводородных топлив.

Ключевые слова: термические оксиды азота, токсичные компоненты, горение, углеводородные топлива.

Условия протекания цепной реакции окисления атмосферного азота свободным кислородом при горении рассмотрены в работах Н. Н. Семенова, Я. Б. Зельдовича, П. Я. Садовникова, Д. А. Франк-Каменецкого, И. Я. Сигала, А. М. Маркевича [1–8,32]:



Эти исследования позволяют определить влияние концентрации исходных веществ, температуры и давления газов на равновесную концентрацию, а также на время установления равновесия реакций образования оксидов азота. Я. Б. Зельдович, П. Я. Садовников, Д. Я. Франк-Каменецкий рассмотрели скорость обратимой реакции образования — разложения оксидов азота и выразили ее следующей формулой:

$$\frac{dC_{\text{NO}}}{dt} = K_1 C_{\text{N}_2} C_{\text{O}_2} - K_2 [C_{\text{NO}}]^2,$$

где K_1 и K_2 — константы скоростей химических реакций;

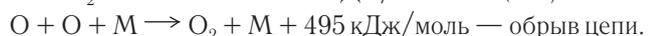
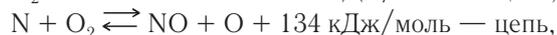
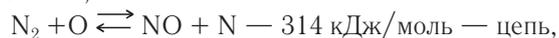
$$K_1 = 6 \cdot 10^6 \exp[-E_1 / RT]; K_2 = 3 \cdot 10^6 \exp[-\tilde{A}_2 / RT].$$

Несмотря на цепной механизм реакции образования оксидов азота, ее формальная кинетика хорошо описывается уравнением обратимой реакции с энергией активации для прямой реакции $E_1 = 542$ кДж/моль, обратной $E_2 = 360$ кДж/моль. В результате получено уравнение для равновесного количества NO [9–16,32]:

$$[C_{\text{NO}}] = 4,6 \sqrt{C_{\text{O}_2} C_{\text{N}_2} \exp[-21500/(RT)]}.$$

Я. Б. Зельдовичем разработана цепная схема окисления азота, в которой активную роль играют свободные атомы кислорода и азота:

$\text{O}_2 + \text{M} \rightarrow \text{O} + \text{O} + \text{M} - 495$ кДж/моль — иницирование,



В этом случае концентрация атомарного кислорода остается неизменной. Единственным источником ак-

тивных центров является реакция диссоциации молекулярного кислорода, концентрация атомарного кислорода определяется по условию равновесия реакций диссоциации и рекомбинации кислорода.

Энергетический барьер реакции складывается из двух составляющих:

а) энергии, требующейся на образование одного атома кислорода (E_1);

б) энергии активации реакции атома кислорода с молекулой азота (E_2).

Таким образом:

$$E = E_1 + E_2 = 494/2 + 314 = 561 \text{ кДж/моль.}$$

Так как энергия активации этой реакции очень высока, то она предопределяет исключительно сильную зависимость скорости образования оксидов азота от температуры [17–25,32]:

$$dC_{\text{NO}}/dt = 2 K_{II} C_{\text{O}} C_{\text{N}_2},$$

где K_{II} — константа скорости реакции, $(\%/c)^{-1}$;

C_{O} и C_{N_2} — концентрации атомарного кислорода и молекулярного азота, %.

При горении с избытком окислителя:

$$C_{\text{O}} = [K] \sqrt{C_{\text{O}_2}},$$

где $[K]$ — константа равновесия реакций;

C_{O_2} — концентрация кислорода в продуктах сгорания, %.

Так как константа равновесия $[K]$ очень сильно зависит от температуры, то, следовательно, концентрация атомарного кислорода и зависящий от нее выход оксидов азота обусловлен максимальной температурой в зоне горения. Концентрация оксидов азота линейно увеличивается с увеличением концентрации атомарного кислорода и экспоненциально с увеличением температуры, так как реакция образования оксида азота протекает при переменной температуре (при расчетах за характерную температуру принимается максимальная температура цикла). При горении бедных смесей NO образуется во влажном турбулизованном потоке через гемиоксид азота N_2O [17–32].

Литература:

1. Анфилатов, А. А. Снижение содержания оксидов азота в отработавших газах дизеля 2Ч 10,5/12,0 путём применения метанола с двойной системы топливоподачи. Диссертация на соискание ученой степени кандидата технических наук/Киров, 2009. — 184 с.

2. Анфилатов, А. А., Лиханов В. А., Лопатин О. П. Исследование процессов образования и разложения оксидов азота в цилиндре дизеля 2Ч 10,5/12,0 путем применения метанола с двойной системой топливоподачи: Монография. — Киров, 2008. — 156 с.
3. Лиханов, В. А., Анфилатов А. А. Изменение образования оксидов азота в цилиндре дизеля при работе на метаноле // Тракторы и сельхозмашины. 2015. № 4. с. 3–5.
4. Лиханов, В. А., Лопатин О. П., Анфилатов А. А. Снижение содержания оксидов азота в отработавших газах дизеля путём применения метанола с использованием двойной системы топливоподачи // Тракторы и сельхозмашины. 2012. № 5. с. 5–8.
5. Лиханов, В. А., Чувашев А. Н., Глухов А. А., Анфилатов А. А. Улучшение экологических показателей дизеля 2Ч 10,5/12,0 при работе на метаноле // Тракторы и сельхозмашины. 2007. № 3. с. 4–5.
6. Лиханов, В. А., Чувашев А. Н., Глухов А. А., Анфилатов А. А. Улучшение эффективных и экологических показателей дизеля при работе на метаноле // Тракторы и сельхозмашины. 2007. № 4. с. 10–13.
7. Анфилатов, А. А. Влияние метанола на оксиды азота при сгорании в цилиндре дизеля // Молодой ученый. 2015. № 9 (89). с. 151–154.
8. Анфилатов, А. А. Химизм процесса образования оксидов азота в цилиндре дизеля при работе на метаноле // Молодой ученый. 2015. № 10 (90). с. 139–142.
9. Анфилатов, А. А. Теоретические расчеты объемного содержания оксидов азота в цилиндре дизеля при работе на метаноле для номинальной частоты вращения // Молодой ученый. 2015. № 10 (90). с. 142–145.
10. Лиханов, В. А., Анфилатов А. А. Исследование применения метанола в дизеле на оптимальных установочных углах // Современная наука: актуальные проблемы и пути их решения. 2015. № 4 (17). с. 42–44.
11. Анфилатов, А. А. Химизм процесса образования оксидов азота в цилиндре дизеля с воздушным охлаждением // Современная наука: актуальные проблемы и пути их решения. 2015. № 4 (17). с. 45–47.
12. Анфилатов, А. А. Исследование токсичности на скоростном режиме дизеля при работе на метаноле // Современная наука: актуальные проблемы и пути их решения. 2015. № 4 (17). с. 47–50.
13. Анфилатов, А. А. Исследование дымности в отработавших газах дизеля при работе на метаноле // Современная наука: актуальные проблемы и пути их решения. 2015. № 4 (17). с. 50–53.
14. Анфилатов, А. А. Особенности экспериментальной установки для исследования рабочего процесса дизеля при работе на метаноле // Молодой ученый. 2015. № 11 (91). с. 223–225.
15. Анфилатов, А. А. Результаты объемного содержания оксидов азота в цилиндре дизеля при работе на метаноле // Молодой ученый. 2015. № 11 (91). с. 226–228.
16. Анфилатов, А. А. Особенности расчета периода задержки воспламенения при работе дизеля на метаноле // Молодой ученый. 2015. № 11 (91). с. 229–231.
17. Анфилатов, А. А. Теоретические расчеты содержания оксидов азота в цилиндре дизеля // Молодой ученый. 2015. № 11 (91). с. 232–234.
18. Анфилатов, А. А. Расчет содержания оксидов азота в цилиндре дизеля с воздушным охлаждением при работе на метаноле // Молодой ученый. 2015. № 11 (91). с. 235–237.
19. Анфилатов, А. А. Изменение экономических показателей дизеля при работе на метаноле // Молодой ученый. 2015. № 11 (91). с. 238–240.
20. Лиханов, В. А., Лопатин О. П. Образование и нейтрализация оксидов азота в цилиндре газодизеля: Монография. — Киров: Вятская ГСХА, 2004. — 106 с
21. Лиханов, В. А., Лопатин О. П. Улучшение экологических показателей дизеля 4Ч 11,0/12,5 путем применения природного газа и рециркуляции // Транспорт на альтернативном топливе. 2014. № 4 (40). с. 21–25.
22. Лиханов, В. А., Лопатин О. П. Применение природного газа и рециркуляции на тракторном дизеле 4Ч 11,0/12,5 // Тракторы и сельхозмашины. 2014. № 6. с. 7–9.
23. Лиханов, В. А., Лопатин О. П. Улучшение экологических показателей дизеля путем применения этанола-топливной эмульсии // Тракторы и сельхозмашины. 2013. № 2. с. 6–7.
24. Лиханов, В. А., Лопатин О. П. Улучшение эксплуатационных показателей тракторного дизеля Д-240 путем применения этанола-топливной эмульсии // Научно-практический журнал Пермский аграрный вестник: 2013. № 1 (1). с. 29–32.
25. Лопатин, О. П. Применение природного газа и рециркуляции отработавших газов для снижения токсичности тракторного дизеля // Молодой ученый. 2015. № 6–5 (86). с. 11–13.
26. Лопатин, О. П. Зонная модель процесса образования оксидов азота в цилиндре газодизеля с турбонаддувом // Молодой ученый. 2015. № 9 (89). с. 261–265.
27. Лопатин, О. П. Химизм процесса образования оксидов азота в цилиндре газодизеля с турбонаддувом // Молодой ученый. 2015. № 9 (89). с. 265–268.

28. Лиханов, В.А. Улучшение эксплуатационных показателей тракторных дизелей путем применения альтернативных топлив. Диссертация на соискание ученой степени доктора технических наук/Киров, 1999.
29. Лиханов, В.А. Улучшение эксплуатационных показателей тракторных дизелей путем применения альтернативных топлив. Автореферат диссертации на соискание ученой степени доктора технических наук/Санкт-Петербург, 1999.
30. Лиханов, В.А., Полевщиков А.С. Определение оптимальных углов опережения впрыскивания топлив при работе дизеля на этаноле // Транспорт на альтернативном топливе. 2014. № 5 (41). с. 62–64.
31. Лиханов, В.А., Полевщиков А.С. Особенности развития топливных факелов в цилиндре дизеля при работе дизеля на этаноле // Транспорт на альтернативном топливе. 2013. № 1 (31). с. 62–65.
32. Скрыбин, М.Л. Улучшение экологических показателей дизеля 4ЧН 11,0/12,5 с промежуточным охлаждением наддувочного воздуха при работе на природном газе путем снижения содержания оксидов азота в отработавших газах. Диссертация на соискание ученой степени кандидата технических наук/Киров, 2009. — 202 с.

Автоматизированная среда оценки усвоения студентом учебного материала

Спиридонов Роман Сергеевич, аспирант
Московский физико-технический институт

Разработан Java модуль, позволяющий создавать произвольные типы ввода ответов и автоматизировать их оценку в системах электронного обучения. Преимуществом модуля является поддержка генерации алгоритмических вариаций задач, что позволяет преподавателю выдавать уникальные версии одной задачи всем студентам группы. Использование разработанного модуля повышает эффективность преподавательской работы благодаря автоматизированной проверке домашних работ и тестов. Модуль реализует REST протокол, что позволяет производить интеграцию с системами электронного обучения. Жизненный цикл каждой задачи управляется API функциями создания (create), отображения (render), и отправки (submit) задачи для оценки на сервер. Произведена интеграция с No-SQL базой данных MongoDB, что обеспечивает отказоустойчивость и позволяет хранить разнородные данные о действиях студентов.

Ключевые слова: Электронное обучение, Java, REST, MongoDB.

Java module is developed that allows creation of arbitrary input types and automation of grading for the submitted answers in e-Learning systems. The advantage of this module is support of algorithmic questions variation that gives a teacher the opportunity to assign a unique version of the same question to each student within a study group. The usage of the module saves teacher's time by means of answer grading automation. The module implements REST protocol allowing integration with e-Learning system. The lifecycle of a question is managed by API functions create (), render () and submit () which submits the answer to the server. The integration with No-SQL MongoDB database was performed, which ensures high availability and allows storing heterogeneous data on student outcomes.

Keywords: E-learning, Java, REST, MongoDB

1. Введение

Стремительное развитие Интернет-технологий дает возможность повысить эффективность образовательного процесса благодаря использованию систем электронного обучения (СЭО). Системы, внедряющиеся в российских учебных заведениях, такие, как Moodle, Sakai и др. [1], предоставляют преподавателю возможности выдачи домашних заданий и тестов студентам. Недостатком существующей функциональности является ограниченный набор примитивных типов вопросов, с преобладанием выбора из нескольких вариантов ответа. Однако наличие вариантов ответа зачастую упрощает задачу и не способствует развитию у студента творческого подхода к решению [2].

Стоит отметить, что в области программирования в российских вузах уже около десяти лет активно применяются средства автоматизированной проверки правильности программного кода. Принцип их работы основан на исполнении высланного студентом кода в среде на сервере и сопоставлением его стандартного вывода (stdout) с набором тестовых входных данных с заранее известным правильным ответом. Лишь немногие примеры таких систем: <http://contester.tsure.ru/> (ТТИ ЮФУ), <http://acm.mipt.ru/> (МФТИ), <http://neerc.ifmo.ru/pcms2client/login.jsp>

(СПбГУ ИТМО). Несмотря на эти достижения в автоматизации образовательного процесса по информатике и программированию, в математических и естественнонаучных дисциплинах до сих пор преобладают простейшие типы ввода и оценки задач.

Целью данного исследования является реализация независимого программного модуля, который возьмет на себя разрешение указанных недостатков существующих систем в части тестирования знаний. Модуль должен иметь встроенные возможности интеграции с произвольной СЭО. Реализацией должна быть предусмотрена следующая функциональность:

- отображение задач в формате HTML5 с JS и CSS ресурсами для обеспечения совместимости с мобильными устройствами;
- возможность обращения к модулю посредством REST протокола для интеграции с произвольной СЭО;
- автоматизация выставления оценки за задачу (преподавателю не нужно вручную проверять работу студента);
- поддержка генерации различных вариаций одной и той же задачи (преподавателю не нужно подбирать уникальный вариант задачи для каждого студента в группе);
- хранение задач в формате XML с мета-данными для каждой задачи;
- сохранение данных о загруженной задаче и действиях студентов в базу данных MongoDB для отказоустойчивости и последующего анализа данных.

2. Реализация приложения

Серверная часть (back-end) приложения реализована на объектно-ориентированном языке Java. Приложение состоит из трех сервисов:

1. *Сервис работы с задачей (Item Service)* реализует жизненный цикл приложения и поддержку интерфейса программного взаимодействия (API). Получая на вход XML задачи, этот сервис возвращает HTML5 код задачи для отображения пользователю на произвольном устройстве. Пользователь вводит и отправляет ответ на сервер в поля ответа, заданные в задаче. На стороне сервера происходит обработка ответа студента и автоматическая оценка правильности согласно заданному в задаче методу оценки. Наконец, сервис возвращает и отображает в задаче правильный ответ и подсказку, заданную автором задачи.

2. *Хранилище задач (Content Service)* позволяет хранить базу XML задач, доступных для использования. Таким образом, на вход сервису работы с задачами можно подавать как сам XML, так и URL из хранилища.

3. *Слой хранения состояния (Persistence Layer)* необходим, чтобы обеспечить отказоустойчивость путем восстановления состояния задачи в случае падения сервера (коллекция items), а так же для хранения результатов ответов студентов и их дальнейшего анализа (коллекция takes). В качестве этого слоя используется NoSQL база данных MongoDB. Выбор MongoDB связан с высокой производительностью решения в случае хранения ненормализованных данных в формате JSON объектов [3].

Взаимодействие с разработанным приложением происходит путем вызова API функций его жизненного цикла. Вызов функций происходит по протоколу REST [4], что позволяет обращаться к сервису как развернутому на отдельном веб-сервере, так и из приложения. Рассмотрим параметры и возвращаемые значения функций API:

1. **String [] create (String [] itemXML, [options])** — подготовка задачи, получение ее идентификатора (ID). *Возвращаемое значение* есть уникальный идентификатор задачи, генерируемый функцией получения полиномиального хэш-кода itemXML.hashCode () [5].

2. **JSON render (String [] id, [options])** — вернуть HTML код ранее подготовленной задачи с идентификатором ID. В параметрах передается ранее полученный после вызова функции create () идентификатор задачи ID. *Возвращаемое значение* в формате JSON содержит HTML5 код страницы для отрисовки, а так же дополнительные поля со списком используемых ресурсов (JS, CSS).

Пример возвращаемого значения: {id: «(itemID)», html: «(rendered item)», js: [«first.js», «second.js»], css: [«first.css»]}.

3. **JSON answer (String answer, String verb)** — отправление ответа студента на сервер, получение обратной связи (оценки, подсказки). В качестве входного параметра функции используется строка answer, в которой содержится перечисление ответов студента в каждое из полей задачи через разделитель «&». Например, строка answer = «1=green&2=5» будет означать, что в поле «1» был введен ответ «green», а в поле «2» — число 5. *Возвращаемое значение* в формате JSON содержит нормированную оценку (score) правильности ответа студента от 0 до 1 (0 — ответ неверный, 1 — ответ верный, промежуточные значения — ответ частично верный). Оно так же содержит подсказку или объяснение (rejoinder), т.е. обратную связь от системы, почему ответ был дан неверно. Соответствующая подсказка пишется автором задачи в XML.

Пример возвращаемого значения:

```
{score: 0.5, rejoinder: [«Your answer was partially correct.»],
subGrades: {«1»: {score: 1.0, rejoinder: [«Correct.»]}
«2»: {score: 0.0, rejoinder: [«Incorrect.»]}}
```

Для обеспечения автономной работы модуля в отсутствие системы для интеграции реализован набор тестовых JSP страниц. Технология JSP позволяет комбинировать обработку запросов, которая включается в случае наличия параметров запроса, с отображением простых динамических HTML страниц. Благодаря этому свойству, были реализованы тестовые страницы для API запросов:

— /itemservice/sample/start.jsp: страница, содержащая форму запроса с полем типа «text-area» для вставки XML кода задачи или URI задачи (Рис. 1). Ниже приведен фрагмент кода этой страницы (Код 1), который по нажатию пользователем клавиши «Load» отправляет POST запрос на страницу index.jsp, сервлетный код которой совершает вызов функций render() и submit(). В параметрах запроса к index.jsp передается ID задачи, полученный после отправки запроса на create.jsp для вызова функции create().

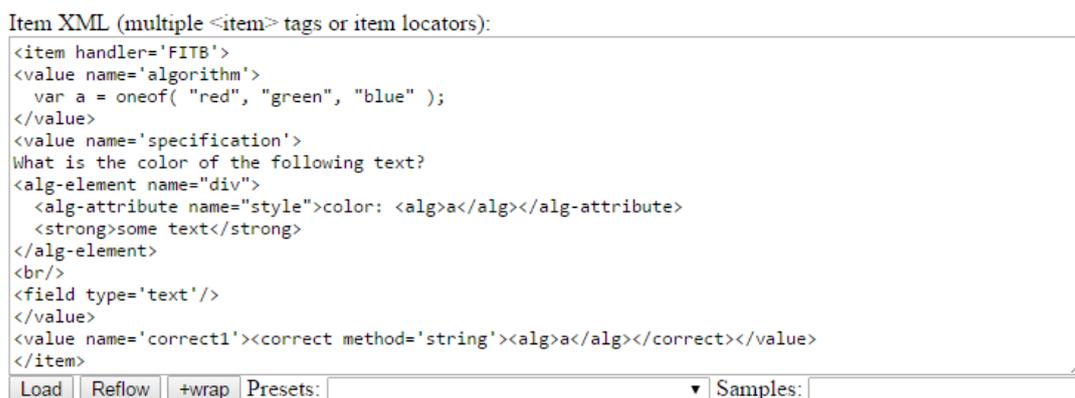


Рис. 1. Тестовая страница start.jsp: вставка XML кода или URI задачи на сервисе хранения контента. Кнопка «Load» для отображения задачи

```
// «items» is text-area containing item XML
String itemsStr = request.getParameter («items»);
if (itemsStr!= null) // «items» is not empty when submitted
{
    <...>
    // put together a POST request for create () API function
    postData post = new postData ();
    <...> // e. g. copy item option values
    // add item to POST request
    post.add («itemXML», item);
    // create () request itself, returns created item ID
    String respStr = NetworkHelpers.getContentFromURL (SERVICE_ROOT +
        "service/create.jsp", post.toString (), true, null);
    postData args = new postData ();
    args.add («id», id);
    // index.jsp will handle the request to render () the item
    response.sendRedirect («index.jsp?» + args.toString ());
}
```

Код 1. start.jsp: REST API вызов функции create () из тестовой страницы

— /itemservice/sample/index.jsp?id=<<строка >>: страница для отображения созданной задачи и последующего взаимодействия со студентом в задаче, переданной по параметру id (Рис. 2). На сервере происходит вызов render() и клиент получает отображение задачи (см. Код 2). После нажатия на кнопку «Submit», происходит отправка введенного студентом ответа «green» на сервер, где происходит вызов функции submit() (Код 3). Значок «галочка» означает, что ответ студента был верный. Функция «show correct answer» позволяет загрузить в поле правильный ответ, а функция «regenerate» — показать другую генерацию задачи (Код 4).

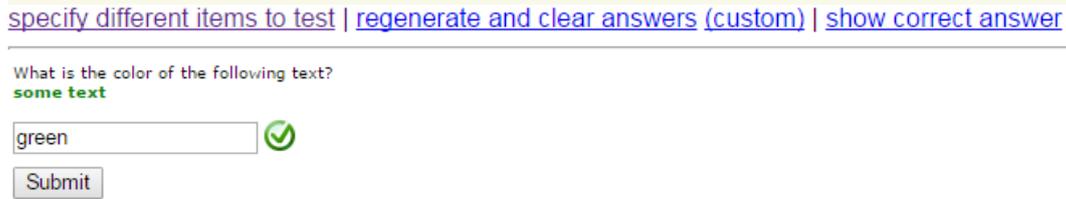


Рис. 2. Тестовая страница `index.jsp`: результат отображения XML задачи или URI задачи на сервисе хранения контента. Кнопка «Load» для отображения задачи

```
String [] quizItems = request.getParameterValues («id»);

// We received an Item ID in the request
if (quizItems!= null)
{
    // render items received in the response (by id)
    postData post = new postData ();
    post.add («id», quizItems [0]);
    // render () request itself, returns HTML code
    String respStr = NetworkHelpers.getContentFromURL (SERVICE_ROOT + "service/render.jsp", post.toString
(), true, null);
}
<...>
// Display item
<%= itemHtml %>
```

Код 2. `index.jsp`: REST API вызов функции `render ()` из тестовой страницы

```
// Answer was submitted by the student (i. e. clicking "Submit" button)
if (request.getParameter ("submit")!= null)
{
    // build request
    postData post = new postData ();
    post.add ("submit", request.getParameter ("submit"));
    for (Object paramObj: request.getParameterMap (). keySet ())
    {
        String param = paramObj.toString ();
        String value = request.getParameter (param);
        if (param.startsWith ("answer_"))
            post.add (param, value);
    }
    // submit () request itself, returns student's grade information as JSON
    String respStr = NetworkHelpers.getContentFromURL (SERVICE_ROOT +
"service/answer.jsp", post.toString (), true, null);
    out.println (respStr); // dump response from service
    return; // allows to render updated item's state on the page
}
```

Код 3. `index.jsp`: REST API вызов функции `submit ()` из тестовой страницы.

```
<script type=«text/javascript»>
function getItemID () { // returns current item's id
var $ = jQuery; var id = $('div.covalent-item: first'). attr («id»); return id;
}
function showCorrect () { // shows correct answer
```

```

    if (ItemService && jQuery) {
        var id = getItemID ();
        ItemService. rerender (id, {showCorrect: true});
    }
}
function regenerate () {
    var $ = jQuery;
    if (ItemService && jQuery)
    {
        var id = getItemID ();
        seed = Math. floor (1000000000 * Math. random ()); // seed for item randomization
        ItemService. rerender (id, {seed: seed, regenerate: true, resetAnswers: true,
            onComplete: function () {
                console. log ("seed = "+ seed);
                $ («.seed-status»). text («seed = «+ seed);
            }});
    }
}
</script>
<...>
<a href="javascript: regenerate ()" >regenerate and clear answers</a>
<a href="javascript: showCorrect ()" >show correct answer</a>

```

Код 4. index. jsp: показ правильного ответа showCorrect () и генерация новой версии задачи regenerate ().

Возвращаемые значения функций `render ()` и `submit ()` выполнены в формате JSON [6], который широко используется для передачи множества данных между клиентом (браузером) и сервером. Формат JSON представляет собой рекурсивную структуру, состоящую из именованных полей, каждое из которых может быть одним из трех типов:

1. Объект (неупорядоченное множество) — неупорядоченный набор других полей, перечисляемых в фигурных скобках {«field 1»: <...>, «field 2»: <...>}
2. Массив (упорядоченное множество) — упорядоченный набор других полей в квадратных скобках [«field 1»: <...>, «field 2»: <...>]
3. Значение — число или строка, например «field 2»: 2.

Сам JSON представляет собой код одного объекта, поэтому его объявление начинается с фигурных скобок {...}.

3. Развертывание приложения и разрешение зависимостей

Комплексные Java приложения нельзя представить без использования уже готовых решений и сторонних библиотек. Чтобы поддержать дальнейшее расширение функционала, необходимо обеспечить простой механизм сборки приложения со всеми зависимостями. В языке Java существуют различные инструменты разрешения зависимостей и интерпретаторов скриптов для сборки приложения. В проекте используется система сборки Gradle [7]. Gradle позволяет описать скрипт самой сборки в файле `build. gradle`, где программист явно прописывает зависимости и их версии. Есть возможность добавить дополнительные команды (targets), такие как запуск тестов или развертывание приложения (deploy). Поддерживается использование репозитория Maven, которые хранят JAR артефакты стандартных библиотек и историю их версий. JAR представляет собой ZIP архив с набором скомпилированных классов Java приложения.

Файл `build. gradle` сервиса рендеринга задач (itemservice) содержит следующие зависимости, которые скачиваются с центрального Maven репозитория (search.maven.org) (см. Код 5):

- `mongo-java-driver`: интеграция с базой данных MongoDB
- `tomcat-servlet-api`: интеграция с контейнером сервлетов Tomcat

Помимо этого, реализована команда «`war`», позволяющая собрать WAR файл приложения (itemservice. war), который можно загрузить в веб-контейнер Tomcat для загрузки тестовых JSP страниц, описанных ранее. Собрать этот файл можно из командной строки, набрав «`gradle war`», находясь в папке проекта.

```

repositories {
    mavenCentral ()
}
dependencies {
    compile group: 'org. mongodb', name: 'mongo-java-driver', version: '2.7.3'

```

```

compile group: 'org.apache.tomcat', name: 'tomcat-servlet-api', version: '7.0.21'
}
war {
archiveName 'itemservice.war'
from 'webapp'
webInf {from 'WEB-INF'}
}

```

Код 5. Фрагмент файла **build.gradle**: зависимости и команда «war» сервиса рендеринга контента (**itemservice**).

Заключение

Разработанное Java приложение для отображения и оценки выполнения задач студентами позволяет:

- Производить генерацию различных вариантов одной и той же задачи благодаря реализации алгоритмического языка;
- Унифицировать отображение задачи на различных платформах благодаря XML модели задачи, которая позволяет инкапсулировать данные задачи от ее отображения;
- Интегрировать приложение с различными СЭО, используя реализованный RESTful API;
- Обеспечить отказоустойчивость системы и возможность проведения аналитики благодаря сохранению данных о задачах и статистики в MongoDB;
- Расширять приложение, добавляя новые типы ввода и алгоритмы оценки, не вникая в детали реализации приложения благодаря предложенной иерархии классов.

Дальнейшие исследования на базе разработанного модуля могут включать создание новых типов ввода ответов — графиков функций, математических выражений, векторных диаграмм — и алгоритмов оценки таких ответов. Другим перспективным направлением является развитие таких алгоритмов, которые позволят помимо автоматизации оценки так же осуществлять обратную связь в виде подсказки, помогающей студенту найти ошибки и прийти к правильному ответу.

Литература:

1. Кривичев, А.И., Сидоренко В.Н. Использование открытых систем управления обучением в вузах // Информационные Технологии в Образовании. Томск, 2010. с. 270—273.
2. Becker, J.P., Shimada S. The open-ended approach: A new proposal for teaching mathematics. Reston, 2005.
3. Pirtle, M. MongoDB for Web Development. Addison-Wesley Professional, 2011. 360 p.
4. Richardson, L., Ruby S. RESTful Web Services // Vasa. 2008. 440 p.
5. Knuth, D. The Art of Computer Programming, volume 3, Sorting and Searching. 1973. 506—542 с.
6. JSON — Википедия [Электронный ресурс]. URL: <https://ru.wikipedia.org/wiki/JSON> (дата обращения: 28.05.2015).
7. Berglund, T. Gradle Beyond the Basics. O'Reilly Media, 2013. 80 p.

Оценивание параметра задержки, не управляемое решениями

Суверова Наталья Петровна, студент
Московский институт электронной техники

Различают два типа оценителей времени: оценитель времени, управляемый решениями и не управляемый решениями. В первом типе информационные символы на выходе демодулятора рассматриваются как известная переданная последовательность, во втором — неизвестная.

Оценку параметра задержки, не управляемую решениями, можно получить путём усреднения отношения

правдоподобия $\Lambda(\tau)$ с учётом функции плотности вероятности (ФПВ) информационных символов для получения $\bar{\Lambda}(\tau)$ [1]. Затем это выражение дифференцируется по τ для получения условия для максимально правдоподобной (МП) оценки задержки, не управляемой решениями $\hat{\tau}_{МП}$.

В случае двоичного (базового) амплитудно-модулированного (АМ) сигнала, где информационные символы

$i_n = \pm 1$ с равной вероятностью, усреднение по данным дает результат:

$$\bar{\Lambda}_L(\tau) = \sum_n \ln ch C y_n(\tau) \quad (1)$$

Он совпадает с результатом в случае оценивания фазы. Поскольку $\ln ch x \approx \frac{1}{2} x^2$ для малых x , квадратичная аппроксимация (9) предназначается для низких отношений сигнал/шум.

$$\bar{\Lambda}_L(\tau) = \frac{1}{2} C^2 \sum_n y_n^2(\tau) \quad (2)$$

Для многоуровневой амплитудной модуляции (АМ) мы можем аппроксимировать статистику информационных символов $\{i_n\}$ гауссовской функцией плотности вероятности (ФПВ) с нулевым средним и единичной дисперсией. Когда мы усредняем $\bar{\Lambda}(\tau)$ по гауссовской ФПВ, то получаем $\ln \bar{\Lambda}(\tau)$ идентично $\bar{\Lambda}_L(\tau)$. Следовательно, оценку τ можно получить дифференцированием (2). Результат является аппроксимацией для МП оценки времени задержки без управления решениями. Производная от (2) приводит к результату (3).

$$\frac{d}{d\tau} \sum_n y_n^2(\tau) = 2 \sum_n y_n(\tau) \frac{dy_n(\tau)}{d\tau} = 0, \quad (3)$$

где $y_n(\tau)$ определено так:

$$y_n(\tau) = \int_{T_0} r(t) g(t - nT - \tau) dt. \quad (4)$$

Схема отслеживающей петли, основанная на выражении (3), иллюстрируется на рисунке 1 [1].

В данной структуре суммирование служит петлевым фильтром. Полоса такого фильтра управляется длиной скользящего окна при суммировании. Выход петлевого фильтра подается на генератор управляемого напряжения (ГУН), который управляет интервалом стробирования на входе петли. Поскольку детектируемая информационная последовательность не используется при оценке задержки, оценивание оказывается не управляемым решением.

Для того чтобы восстановить переданную информацию в цифровой системе связи выход демодулятора должен периодически стробироваться со скоростью передачи символов в точно выбранных моментах $t_m = mT + \tau$, где T — символьный интервал, а τ — номинальное время задержки, которое определяется временем распространения сигнала от передатчика к приёмнику. Поскольку время распространения от передатчика к приёмнику обычно неизвестно на приеме, управление этим стробированием должно осуществляться от принимаемого сигнала [1].

Чтобы выполнять это периодическое стробирование, требуется *тактовая синхронизация* (синхронизация символов) или восстановление отсчётов времени.

Восстановление отсчётов времени — одна из наиболее ответственных функций, которые выполняются в приёмнике синхронных цифровых систем связи. Отметим, что приёмник должен знать не только частоту ($1/T$), с которой стробируются выходы согласованных фильтров или корректоров, но также тот момент времени, в который необходимо взять отсчёты внутри каждого символьного интервала. Положение отсчётного момента внутри символьного интервала длительностью T называют *фазой синхронизации*.

Описание модели Matlab

Каждый, кто занимается цифровой обработкой сигналов, знает, как важно построить математическую модель проектируемого устройства, реализовать её в виде программы и затем провести на этой модели испытания в условиях, приближающихся к натурным.

Simulink является очень удобным средством решения таких задач для разных предметных областей и, в первую очередь, для задач в области цифровой обработки сигналов. MATLAB, Simulink и соответствующие продукты позволяют разрабатывать и моделировать системы связи. Использование Simulink во многих случаях исключает

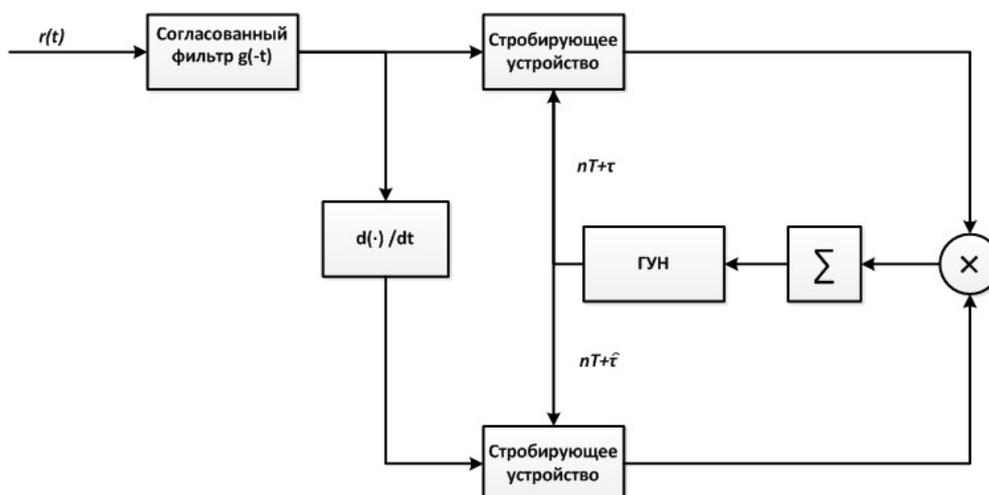


Рис. 1. Оценивание времени сдвига без обратной связи по решению для АМ в базовой полосе частот

утомительные и трудоёмкие этапы составления и отладки программ, позволяя сосредоточить основные усилия непосредственно на решении определенных предметно-ориентированных задач. С помощью данной программы мы сможем количественно оценить эффективность моделируемой системы и аппаратных прототипов и сделать визуализацию данных [2].

Работая с программой Simulink, можно создавать модели линейных и нелинейных, аналоговых, дискретных и смешанных (аналогово-дискретных) цепей и систем, изменять параметры блоков непосредственно во время процесса моделирования и сразу же наблюдать реакцию моделируемой системы. Всё это делает работу с Simulink одинаково привлекательной как для начинающих пользователей, так и для опытных специалистов.

Именно поэтому для проведения моделирования и оценки параметра задержки была выбрана данная интерактивная графическая программа, позволяющая моделировать динамические системы на уровне структурных и функциональных схем.

Реализация схемы, изображенной на рисунке 1, в среде Matlab Simulink показано на рисунке 2.

При моделировании отслеживающей петли в среде Matlab Simulink были заданы следующие параметры:

- Длительность информационного символа $\tau = 0.5/20$ мкс
- Информационная частота $f_{инф} = 40$ МГц
- Частота Доплера информационная $\Delta f_{инф} = 200$ Гц
- Промежуточная частота $f_{пч} = 400$ МГц
- Частота Доплера на промежуточной частоте $\Delta f_{пч} = 4$ кГц
- Частота несущей $f_{нес} = 3$ ГГц

Принимаемый сигнал является QPSK сигналом. Этот сигнал мы формируем при помощи блоков INFORMATION и Transmitter. Эти блоки представлены на рисунке 3 и 4.

Входным параметром блока INFORMATION является $F = 1/\tau = 20 / (0.5 \cdot 10^{-6})$.

В качестве источника удобно использовать псевдослучайный некоррелированный битовый поток — блок Bernoulli Binary. Здесь мы задаем следующие параметры:

- Probability of a zero: 0.5;
- Initial seed: 64;

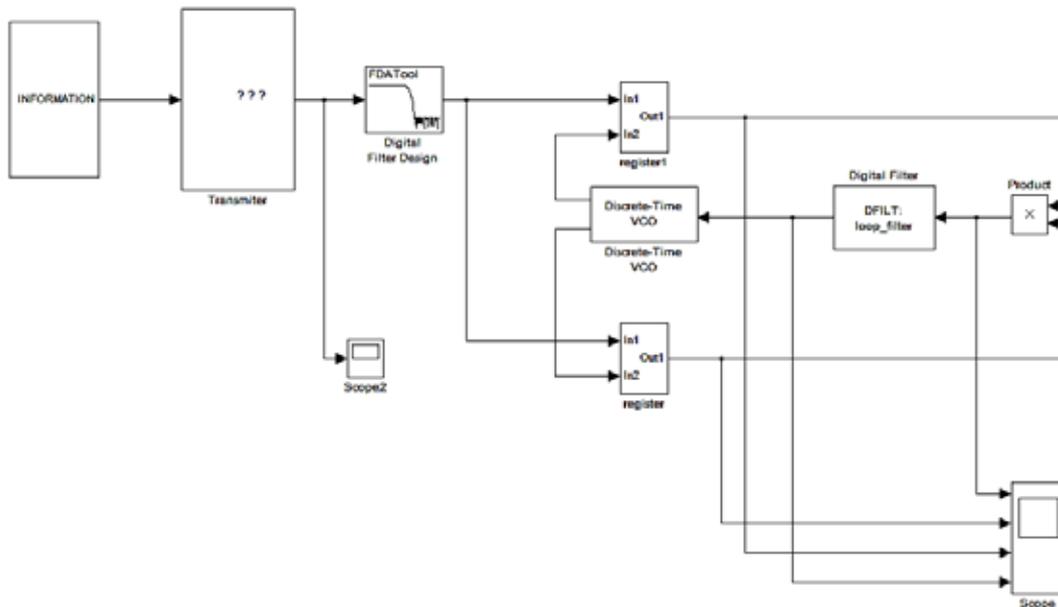


Рис. 2. Реализация схемы в Matlab Simulink

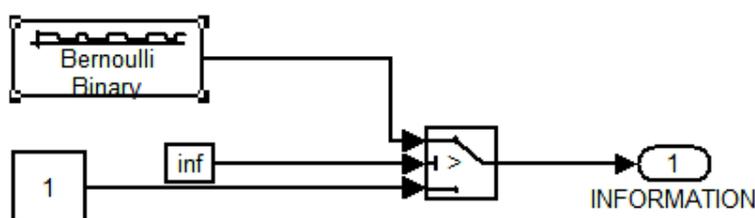


Рис. 3. Содержимое блока INFORMATION

— Sample time: $1/(40e+6)$, где $40e+6$ информационная частота. Это шаг модельного времени, используемый для согласования работы источника и других компонентов модели во времени.

Блок Unipolar to Bipolar Converter позволяет сделать из однополярного сигнала двуполярный. Здесь Repetition count: $(3e+9)/(40e+6) = 75$, где в качестве входного параметра блока modulator PSK выступает параметр $f = 1/(40e+6)$, с информационной частотой $f_{и} = 40$ МГц.

Полученный QPSK сигнал мы можем увидеть по результатам моделирования на осциллографе Scope2, изображенный на рисунке 5.

С помощью блока Digital Filter Design мы смоделировали КИХ-фильтр (ФНЧ).

Блок Digital Filter в схеме является петлевым фильтром. Петлевой фильтр представляет собой фильтр низких частот (ФНЧ), который подавляет сигнал на удвоенной частоте, в результате чего формируется управляющее напряжение.

При оценивании параметра задержки мы используем блок Discrete-Time VCO — генератор, управляемый напряжением. С его помощью генерируем сигнал, мгновенная частота которого меняется по закону, заданному отсчетами. Входные параметры блока следующие:

- Quiescent frequency (Hz) = $f_{пч}$;
- Output amplitude = 1 V;

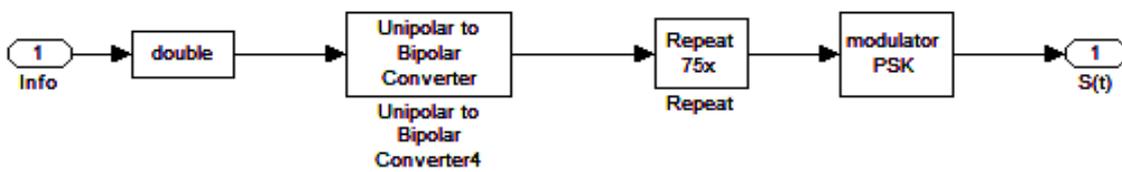


Рис. 4. Составные части блока Transmitter

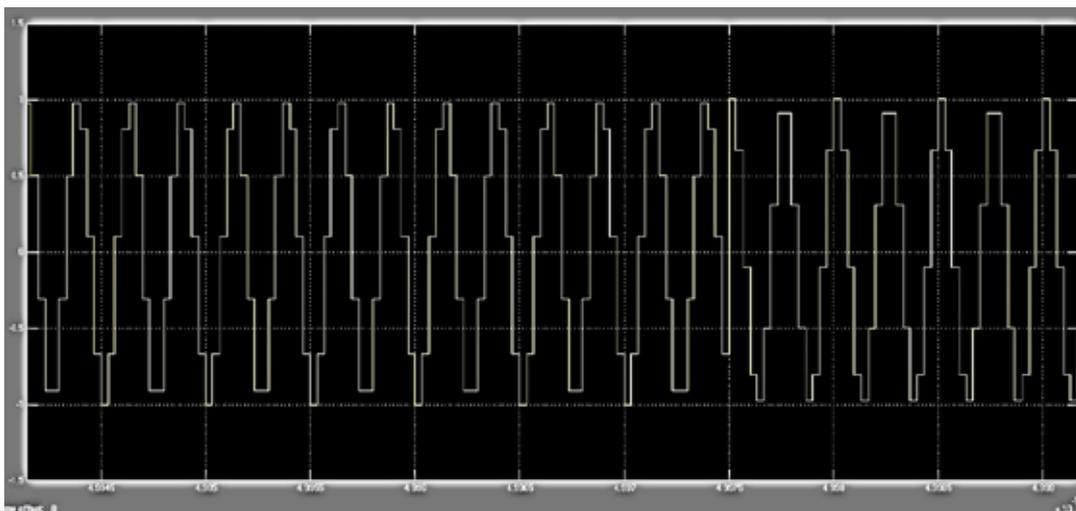


Рис. 5. Показания осциллографа Scope2

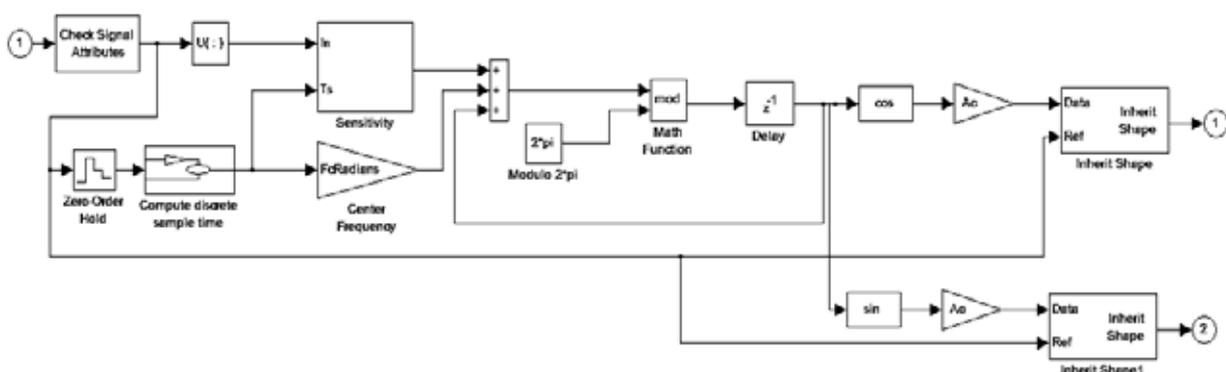


Рис. 6. Схема блока Discrete-Time VCO

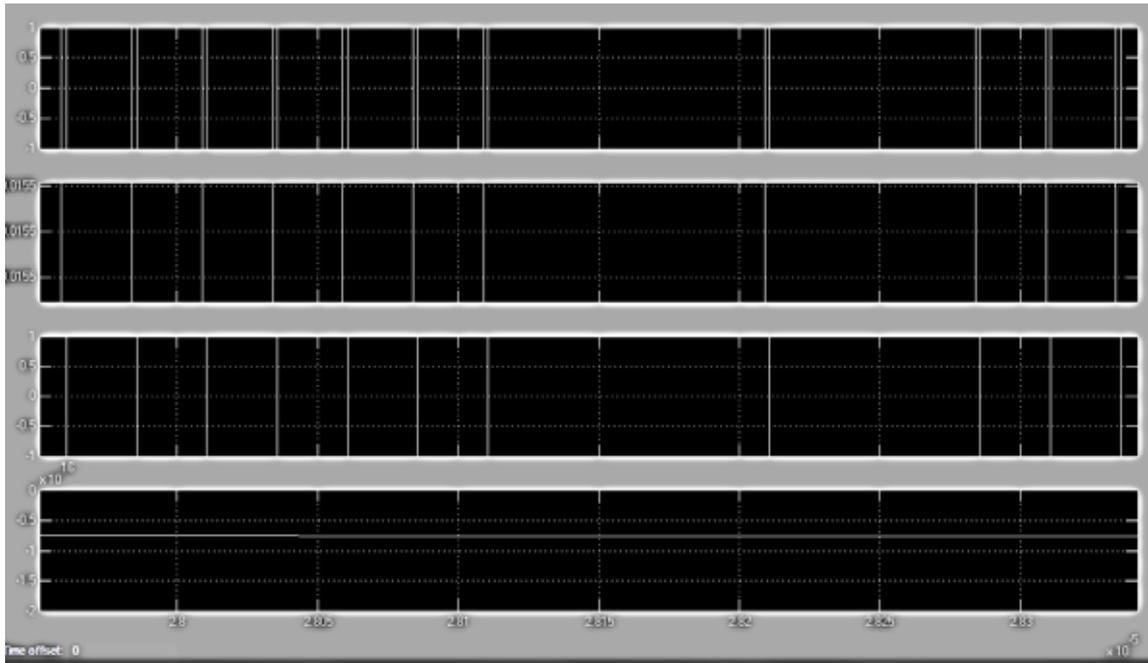


Рис. 8. Показания осциллографа Scope

- Input sensitivity (Hz/V) = 100;
- Initial phase = 0 rad;
- Sample time (s) = $1/\dot{i}_{\text{нес}}$.

Здесь $\dot{i}_{\text{пч}}$ — промежуточная частота, $\dot{i}_{\text{нес}}$ — частота несущей [3].

На рисунке 7 мы видим показания осциллографа Scope, иллюстрирующие верную работу нашей схемы.

По данным показателям мы можем оценить время задержки без обратной связи по решению для АМ в базовой полосе частот

Заключение

В данной статье была проведена оценка параметра временной задержки, не управляемой решениями и реализована отслеживающая петля, оценивающая время сдвига без обратной связи по решению для АМ в базовой полосе частот. Смоделировав и описав данную схему, был показан принцип ее работы.

Литература:

1. Прокис Джон. Цифровая связь. Пер. с англ./Под ред. Д.Д. Кловского. М.: Радио и связь. 2000. 800 с.
2. Шульгин, В.И. Основы работы с Simulink Matlab, 2010. Режим доступа: http://k501.xai.edu.ua/lib/labrab_Shulgin_Osnovi_%20raboti_%20s_%20SIMULINK_%20MATLAB.pdf
3. Черных, И.В. Моделирование электротехнических устройств в MATLAB, SimPowerSystems и Simulink. М.: ДМК Пресс, СПб.: Питер, 2008. 288 с.

Направления повышения качества функционирования навигационных систем для подвижных наземных объектов при решении навигационных задач

Сурков Владимир Олегович, аспирант
Тамбовский государственный технический университет

Предложены направления повышения качества функционирования навигационных систем подвижных наземных объектов. Для повышения качества работы необходима реализация следующих направлений: усовершенствование нерадиотехнических измерителей, введение новых радиотехнических устройств в состав системы навигации и снижение погрешностей позиционирования за счет использования дифференциального режима работы СРНС и внедрение и использование новых алгоритмов обработки информации — например алгоритмов, основанных на методах марковской теории оценивания случайных процессов.

При пропадании данных СРНС происходит значительный рост погрешностей в определении координат местоположения, который приводит к снижению точности полученных данных, росту погрешностей и невозможности определения местоположения на основе данных от СРНС в навигационных системах (НС) подвижных наземных объектов (ПНО). Это подтверждено анализом точностных характеристик навигационных систем подвижных наземных объектов в [1]. Погрешности при определении местоположения в данном случае не удовлетворяют требованиям из [2], поэтому необходимо предложить пути повышения качества работы навигационных систем (надежности, помехозащищенности, точности получаемых данных).

Возможны следующие направления повышения качества работы навигационных систем применительно к точности получаемых данных:

1. Снижение погрешностей определения местоположения при работе в автономном режиме за счет нерадиотехнических датчиков — усовершенствование измерителей, например беслатформенной инерциальной навигационной системы (БИНС), заключающееся в модернизации состава устройства за счет применения новых материалов при конструировании его элементов — новых типов гироскопов и акселерометров при создании датчика угловой скорости (ДУС), датчика линейных ускорений (ДЛУ) и инерциальной навигационной системы (ИНС);

2. Снижение погрешностей определения местоположения за счет радиотехнических датчиков — введение новых радиотехнических устройств в состав системы и снижение погрешностей позиционирования за счет использования дифференциального режима работы СРНС. Роль нового устройства, которое может быть использовано в составе НС ПНО, могут выполнять системы сотовой связи вследствие их широкого распространения в большинстве городов. Она может применяться для повышения точности позиционирования в качестве дополнительной системы с СРНС. При их использовании в зависимости от применяемой технологии определения местоположения, возможно, получить точность до 50 м. [3].

При этом система сотовой связи в настоящее время не может стать альтернативой СРНС, так как они так же

не лишены недостатков, главный из которых в том, что указанные технологии не функционируют в местах вне покрытия сотовых сетей. Влияние так же может оказать рельеф местности, количество базовых станций и высота вышек сотовой связи.

Возможно, так же применение наземных радиосистем дальней навигации для получения координат местоположения в зонах, где вследствие совокупности факторов невозможна корректная работа систем сотовой связи и СРНС. Однако их использование сопряжено с недостатками, среди которых низкая точность определения дальности. Точность позиционирования зависит от: влияния пространственного сигнала, скорости распространения поверхностной волны и геометрического фактора. Поэтому погрешность определения местоположения, например для системы «ЛОРАН-С» составляет — 0,46 км.

Дифференциальный режим работы СРНС может быть реализован за счет специального программного обеспечения, устанавливаемого в навигационной системе, позволяющего получать сигналы от СРНС и поправки от систем дифференциальной коррекции с дальнейшей их обработкой и выдачей уточненных данных СРНС потребителю. В качестве систем дифференциальной коррекции могут использоваться как наземные, так и космические системы дифференциальной коррекции.

Дифференциальный режим работы СРНС в настоящее время широко используется в навигационных системах подвижных наземных объектов иностранного производства.

Возможным решением данных проблем является внедрение новых алгоритмов обработки информации в НС.

Реализация направления актуальна для систем, построенных с использованием принципов комплексирования измерителей. Сущность комплексирования состоит в использовании информации об одних и тех же или функционально связанных параметрах, полученных от различных измерителей, для повышения точности и надежности определения навигационных параметров.

В простейших случаях комплексирование осуществляется на основе взаимной компенсации и фильтрации ошибок. Объединяются измерители, функциониру-

ющие на основе разных принципах и измеряющих один и тот же параметр. Объединение возможно по способу компенсации, фильтрации и введения дополнительной информации в кольцо слежения. Выигрыш при комплексировании определяется за счет разницы между спектральными характеристиками помех, и чем эта разница больше, тем он выше.

Большое различие в спектральных характеристиках может быть обеспечено за счет комплексирования нерадиотехнических измерителей (НРТИ) и радиотехнических измерителей (РТИ), так как спектральные характеристики помех данных измерителей лежат в разных частотных областях.

Варианты комплексных систем приведены в статье [4].

Комплексная вторичная обработка информации дает положительный эффект лишь тогда, когда соответствующие измерители работоспособны. Современные системы навигации строятся с использованием алгоритмов фильтрации Калмана-Бьюси, которые не включают в себя возможность контроля входных сигналов.

Необходимо так же учитывать тот факт, что при совместной работе СРНС, систем сотовой связи и РСДН не произойдет значительного снижения погрешностей при возросшей сложности алгоритмов обработки информации. Это проиллюстрировано для варианта комплексирования СРНС и системы сотовой связи в статье [5] и в статье [6] для комплексирования СРНС и РСДН. Системы сотовой связи и наземные радиосистемы дальней навигации могут применяться в качестве резервных систем в случае кратковременного пропадания сигналов СРНС при использовании соответствующего программного обеспечения.

Поэтому необходимо создать алгоритм обработки информации, который включал бы в себя возможность кон-

троля сигналов, поступающих на входе системы — создать систему контроля технического состояния датчиков (СРНС) и возможность производить реконфигурацию системы. Используемые в настоящий момент в навигационных системах подвижных наземных объектов методы контроля состояния датчиков не позволяют осуществить контроль сигналов на входе, так как используют методы вторичной обработки информации.

Создать систему контроля сигналов на входе СРНС возможно используя методы первичной обработки информации — методы марковской теории оценивания случайных процессов. Методы марковской теории оптимального оценивания позволяют решением соответствующих задач синтеза не только получить оптимальные или субоптимальные алгоритмы высокоточных и помехоустойчивых систем комплексной обработки информации, но и на основе устройств функционального контроля формировать сигналы оповещения или команды на оптимальную адаптивную реконфигурацию в соответствии с задачами, текущими условиями применения и техническим состоянием.

Таким образом, для повышения качества работы навигационной системы подвижного наземного объекта необходима совместная реализация следующих направлений:

1. Усовершенствование нерадиотехнических измерителей;
2. Введение новых радиотехнических устройств в состав системы навигации и снижение погрешностей позиционирования за счет использования дифференциального режима работы СРНС;
3. Внедрение и использование новых алгоритмов обработки информации — например, алгоритмов, основанных на методах марковской теории оценивания случайных процессов.

Литература:

1. Сурков, В. О. Анализ состава существующих систем навигации для подвижных наземных объектов и выбор наиболее перспективного состава, исходя из требований точности и надежности/В. О. Сурков // Современные тенденции технических наук: материалы II междунар. науч. конф. (г. Уфа, май 2013 г.). — Уфа: Лето, 2013. — с. 20–24.
2. Радионавигационный план Рос. Федерации: утв. приказом Министерства промышленности и торговли РФ от 2 сентября 2008 г. № 118: в редакции приказа Министерства промышленности и торговли РФ от 31 августа 2011 г. № 1177. [Электронный ресурс]. Доступ из справ.-правовой системы «КонсультантПлюс».
3. Сурков, В. О. Точности определения местоположения подвижных наземных объектов в сотовых сетях GSM и UMTS/В. О. Сурков // Молодой ученый. — 2013. — № 6. — с. 147–150
4. Сурков, В. О. Системы навигации подвижных наземных объектов и их характеристики/В. О. Сурков // Молодой ученый. — 2013. — № 7. — с. 76–79.
5. Иванов А., В. Совместная обработка информации спутниковых радионавигационных систем и наземных сетевых систем в навигационных системах подвижных наземных объектов/Иванов А. В., Гостев А. В., Семенов А. А., Соколовская Л. В./Радиотехника. — Москва, № 4, с. 16–19.
6. Авдеев, М. В. и др. Совместное применение спутниковых и импульсно-фазовых радионавигационных систем в навигационном комплексе наземного мобильного средства//М. В. Авдеев, А. В. Журавлев, В. М. Безмага, В. В. Гологузов// Теория и техника радиосвязи — Воронеж, 2013 — № 1, с 5–15.

Сравнительный анализ отечественных и зарубежных систем навигации подвижных наземных объектов

Сурков Владимир Олегович, аспирант
Тамбовский государственный технический университет

В статье дан сравнительный анализ систем навигации подвижных наземных объектов. Системы иностранного производства имеют более высокие характеристики точности за счет использования дифференциального режима работы спутниковых радионавигационных систем и применения в качестве систем дифференциальной коррекции космических и наземных систем.

Система навигации подвижных наземных объектов (ПНО) решает задачи определения координат местоположения, параметров движения и углов ориентации подвижного объекта и выдачу необходимой информации. В статьях [1–2] производится обзор существующих навигационных систем, как военного, так и гражданского применения. В них подробно рассматривается работа некоторых датчиков, методы обработки информации в данных системах и сравниваются значений погрешностей в определении курса. В статье [3] сравниваются точностные характеристики и состав систем военного назначения. В статьях [4] рассматриваются системы навигации подвижных наземных объектов отечественного производства. В статье [5] дается анализ систем навигации отечественного и иностранного производства с указанием оптимального режима работы систем и без сравнения представленных точностных характеристик между собой.

Однако сравнительный анализ всех точностных характеристик навигационных систем для ПНО иностранного и отечественного производства в литературе не встречается. Целью статьи является анализ точностных характеристик существующих систем навигации и их сравнение.

Характеристика навигационных систем для подвижных наземных объектов и их сравнительный анализ

Система навигации ПНО решает задачи определения координат местоположения, параметров движения и углов ориентации подвижного объекта и обеспечивает выдачу

следующих данных: горизонтальных координат (координат), высоты, скорости, углов ориентации (крена, курса, тангажа).

Обобщенная структурная схема навигационной системы ПНО представлена на рисунке 1.

Измерители автономной системы предназначены для определения координат, параметров движения и пространственного положения продольных осей ПНО.

В качестве измерителей могут быть использованы следующие устройства: — измеритель ускорения и углов крена и тангажа — инерциальная навигационная система (входит в состав большинства навигационных систем). Инерциальная навигационная система может быть платформенного и бесплатформенного типа.

измеритель магнитного поля Земли: 3-осный магнетометр (система «КомпаНав-2М», Ekinoh-N);

измеритель скорости, выполненный в виде механического («Гамма — 1» [6]) или доплеровского датчика скорости («ГАЛС — Д2М»)

измеритель высоты — барометрический высотомер (система «КомпаНав-3»);

измеритель пройденного пути, который может выполняться в виде одометра (система «БИНС-Тек», «Азимут», Ellipse-N).

В качестве радиотехнической системы коррекции обычно используется приемник спутниковой навигационной системы (СРНС) (ГЛОНАСС/GPS) и ра-

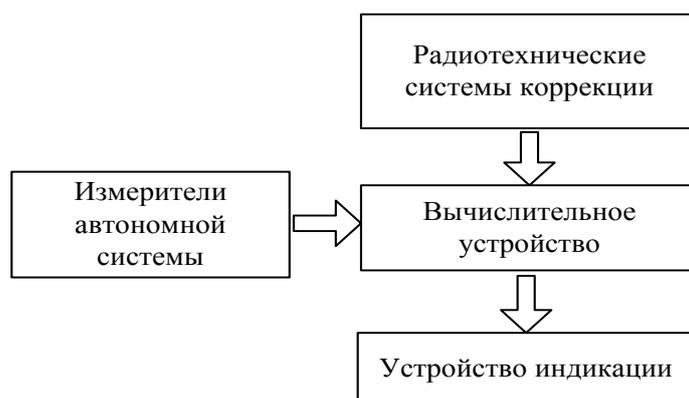


Рис. 1. Обобщенная блок-схема систем навигации для ПНО

Таблица 1. Точностные характеристики навигационных систем для подвижных наземных объектов отечественного производства

Система	Режим работы	Координаты, СКО	Скорость	Вертикальная скорость	Крен, тангаж	Курс
«Азимут»	P2	25 м			0,8°	
	P1	1,2% от пр. пути			0,8°	
КомпаНав-2Т	P2	5 м	0,2 м/с	0,3 м/с	1,0°	1,5°
	P1	500 м	5 м/с	0,3 м/с	1,5°	3°
КомпаНав-3	P2	6 м	0,2 м/с	0,2 м/с	0,2°	0,4°
	P1	500 м	0,5 м/с	0,5 м/с	0,4°	2°
КомпаНав-2М	P2	5 м	5 м/с	0,3 м/с	0,3°	0,5°
	P1	600 м	5 м/с	0,5 м/с	0,5°	3°
БИНС-Тек	P2	5 м	0,1 м/с	0,3 м/с	0,03°	0,1°
	P1	0,25% от пр. пути	2 м/с	0,5 м/с	0,1°	0,7°
Ориентир	P2	500 м				
	P1	0,2% от пр. пути				
КС-100М	P2	60 м	1 м/с			0,8°
	P1	500 м	1 м/с			0,8°
Малогабаритная навигационная аппаратура ФГУП НКТЬ «ФЕРРИТ»	P2	20 м			0,2°	0,6°
	P1	1,0% от пр. пути			0,2°	0,6°
«Трона-1».	P2	10 м				
	P1	0,7% от пр. пути				
ТНА-4	P2					
	P1	0,9% от пр. пути				
«Гамма-1»	P2	25 м			3,5°	0,1°
	P1	0,6% от пр. пути			3,5°	0,1°
«Гамма-2»	P2	25			3,5°	0,1°
	P1	1% от пр. пути			3,5°	0,1°
ГАЛС-Д2М-1	P2	33 м			0,5°	0,16°
	P1	0,5% от пр. пути				
ГАЛС-Д2М-2	P2	22 м			0,5°	0,11°
	P1	0,25% от пр. пути				
ГАЛС-Д2М-3	P2	14 м			0,5°	0,7°
	P1	0,1% от пр. пути				
ГАЛС-Д2М-4	P2	8 м.			0,5°	0,04°
	P1	0,05% от пр. пути				

диотехнические системы дальней навигации «Чайка» и «LORAN-C», входящие в состав системы «ОРИЕНТИР» и КС-100М.

В таблице 1 приведены сравнительные точностные характеристики систем для ПНО отечественного производства.

В таблице 1: P1 — автономный режим; P2 — режим с коррекцией от СРНС; пр. путь — пройденный путь; СКО — среднеквадратическое отклонение.

Основными для навигационных систем отечественного производства являются следующие режимы работы:

1. Автономный;
2. Автономный с коррекцией от СРНС.

В таблице 2 приведены точностные характеристики систем навигации подвижных наземных объектов иностранного производства.

В таблице 1: P1 — автономный режим; P2 — режим с коррекцией от СРНС; пр. путь — пройденный путь; SBAS — режим работы, при котором дифференциальные поправки определяются с помощью космических систем дифференциальной коррекции; DGPS — режим работы, при котором дифференциальные поправки определяются с помощью наземных систем дифференциальной коррекции; RTK — режим работы, при котором дифференциальные поправки определяются с помощью методов RTK.

Для навигационных систем подвижных наземных объектов иностранного производства возможны следующие режимы работы:

1. Автономный;
2. Автономный с коррекцией от СРНС;
3. Режим, который включает в себя дифференциальный режим работы СРНС.

Таблица 2. Точностные характеристики навигационных систем для подвижных наземных объектов иностранного производства

Система	Режим работы	Координаты, СКО	Скорость	Крен, тангаж	Курс
Ellipse-N	P2	2 м	0.1 м/с	0.2°	0.2 °
	P1	190			
Ellipse-E	P2	2 м	0.1 м/с	0.2°	0.2 °
	P1	190 м			
Ekinox-N	P2	1.5 м	0,1%от пр. пути	0.05 °	0,5°
	P1				
	SBAS	0.6 м			
	DGPS	0.4 м			
RT2500	RTK	0.02 м	0,36 м/с	0.05°	0.2°
	P2	3 м			
	P1	600 м			
	SBAS	2.0			
RT2502	DGPS	0.9	0,36 м/с	0.05 °	0.15 °
	P2	3 м			
	P1	0,25%от пр. пути			
	SBAS	2.0			
RT2002	DGPS	0.9	0,36 м/с	0.05°	0.1
	P2	1,5 м			
	P1	0,2% от пр. пути			
	SBAS	0.6 м			
RT3100	DGPS	0.4 м	0,36 м/с	0.05°	0.1
	RTK	0.02 м			
	P2	1,8 м			
	P1				
RT3102	SBAS	0.6 м	0,36 м/с	0.05°	0.1
	DGPS	0.4 м			
	P2	1,8 м			
	P1				
RT3002	RTK	0,01 м	0,18 м/с	0.03°	0.1
	DGPS	0.4 м			
	P2	1,5 м			
	P1				
RT3003	SBAS	0.6 м	0,18 м/с	0.03°	0.1
	DGPS	0.4 м			
	P2	1,5 м			
	P1				
Survey+	RTK	0,01 м	0,18 м/с	0.03°	0.1
	DGPS	0.4 м			
	P2	1,5 м			
	P1				
Survey+ L1	SBAS	0.6 м	0,36 м/с	0.05 °	0.1
	DGPS	0.4 м			
	P2	1,8 м			
	P1				

Дифференциальный режим включает в себя получение данных от СРНС, получение дифференциальных поправок от систем дифференциальной коррекции (космических и наземных), их обработку и выдачу данных потребителю. Одно из назначений дифференциального режима работы состоит в повышении точности данных местоположения объекта, полученных от СРНС.

Для обеспечения дифференциального режима работы СРНС в навигационных системах иностранного производства используется соответствующее программное обеспечение, например TheSplitBox для системы Ekipox-N. В данном программном обеспечении осуществляется обработка данных как от датчиков, входящих в состав системы, так и от систем дифференциальной коррекции и их обработку.

Анализ данных из таблиц 1 и 2 показывает, иностранные и отечественные навигационные системы имеют примерно одинаковые точностные характеристики по скорости, углам крена курса и тангажа, что обусловлено применением ИНС. Значительные значения в показателях точности позиционирования свидетельствуют о применении в иностранных навигационных системах методов для повышения точности данных СРНС. Данные методы реализуются за счет использования дифференциального

режима работы СРНС и получения поправок с помощью космических и наземных систем дифференциальной коррекции в навигационных системах подвижных наземных объектов, которое приводит к снижению СКО позиционирования во много раз. В рассмотренных навигационных системах подвижных наземных объектов отечественного производства дифференциальный режим работы СРНС не реализован по причине отсутствия аналогов таких систем как DGPS и RTK для систем навигации подвижных наземных объектов.

Наиболее перспективными направлениями в развитии систем навигации отечественного производства являются:

1. Реализация дифференциального режима работы СРНС за счет использования в качестве системы дифференциальной коррекции системы дифференциальной коррекции и мониторинга Глонасс (СДКМ) совместно с внедрением соответствующего программного обеспечения;

2. Внедрение нового программного обеспечения, позволяющего снизить вред от попадания данных от СРНС — создание алгоритмов обработки информации с использованием различных методов, позволяющих обеспечить реконфигурацию структуры навигационной системы, например методов марковской теории оценивания случайных процессов.

Литература:

1. Комраков, Д. В. Навигационные комплексы наземных мобильных средств // Д. В. Комраков // Технические науки: теория и практика: материалы междунар. заоч. науч. конф. (г. Чита, апрель 2012 г.). — Чита: Издательство Молодой ученый, 2012. — с. 47–49.
2. А. В. Журавлев, В. М. Безмага. Навигационные комплексы наземных мобильных средств // Новости навигации — 2009 — № 1 — с. 29–36.
3. Система топографического ориентирования «Трона-1» // Обозрение армии и флота — 2007. — № 4.
4. Сурков, В. О. Системы навигации подвижных наземных объектов и их характеристики // В. О. Сурков // Молодой ученый. — 2013. — № 7. — с. 76–79.
5. Сурков, В. О. Системы навигации подвижных наземных объектов и их характеристики // В. О. Сурков // Молодой ученый. — 2015. — № 9. — с. 298–302.

Показатели угроз безопасности на уровнях модели OSI

Чаплыгина Мария Петровна, студент

Национальный исследовательский университет «МИЭТ» (г. Зеленоград, Московская обл.)

Система обнаружения вторжений — распространенный сервис безопасности. Основным способом которого является использование сигнатур (формальных признаков вероятности сетевой атаки). Для каждого уровня они различные (в изобразительных свойствах), так как они формируют признаки и используют различные методы и термины.

Для первых четырех уровней модели OSI формируем критерии, на основании которых принимаем решение о конкретной ситуации.

Физический уровень

Протоколы физического уровня описывают электрические, механические, функциональные и процедурные средства для активации, поддержки и деактивации физического соединения, обеспечивающего передачу бит из одного сетевого устройства в другое. Физический уровень получает пакеты данных от вышележащего канального уровня и преобразует их в оптические или электрические сигналы, соответствующие 0 и 1 бинарного потока.

Эти сигналы посылаются через среду передачи на приемный узел.

Механические и электрические/оптические свойства среды передачи определяются на физическом уровне и включают в себя:

- тип кабелей и разъемов;
- разводку контактов в разъемах;
- схему кодирования сигналов для значений 0 и 1.

На этом же уровне определяются характеристики электрических сигналов, такие как:

- фронты импульсов;
- уровни напряжения или тока передаваемого сигнала;
- типы кодирования;
- скорости передачи сигналов.

Критерии:

1. Физическая работоспособность.
2. Физическая целостность (целостность системы защиты).

3. Физическая доступность.

На физическом уровне происходит резервирование — дублирование линков.

Набор показателей:

1. Напряжение.
2. Давление.
3. Скорость передачи.

Сигнатуры:

1. Давление в манометре (например, падение давления в трубе ниже определенного уровня является сигнатурой).

2. Использование каналов, не задействованных в защищаемой сети.

3. Перекрывающиеся каналы.

4. Внезапное изменение рабочего канала одним или несколькими устройствами, за которыми ведется наблюдение.

5. А вот события, фиксируемые COB на верхних уровнях стека протоколов, например, большое число фрагментированных пакетов или запросов *TCP SYN*, может указывать на сканирование портов или DoS-атаку. Но, если это просто результат плохой связи на физическом уровне, данная проблема не является сигнатурой.

Атаки:

1. Обрыв кабеля.
2. Недопустимое повышение/понижение напряжения.

3. Среда теряет функциональность (утратила физические свойства).

4. Используемые характеристики находятся в неправильном диапазоне.

5. Изменились свойства канала, то есть передача, как таковая, совершаться будет, но сам канал передачи будет ненадежный (не защищен).

Канальный уровень

Канальный уровень подготавливает фреймы для передачи по локальной среде.

В локальных сетях канальный уровень разделяется на два подуровня.

- подуровень управления логическим каналом (LLC);
- подуровень доступа к среде (MAC).

В отличие от других протокольных блоков данных, фрейм канального уровня состоит из следующих элементов: **заголовок** (содержит контрольную информацию), **данные** (содержит заголовок IP, заголовок транспортного уровня и данные), **концевик** (содержит контрольную информацию для выявления ошибок).

Критерии:

1. Корректность реализации соглашений протокола.
2. Статистическая устойчивость интенсивности ширококестельных фреймов.

3. Статистическая устойчивость интенсивности фреймов с чужим MAC-адресом.

MAC-адреса и идентификаторы виртуальных сегментов сети должны быть определены и перечислены.

Набор показателей:

1. Принадлежность текущего MAC-адреса или идентификатора таким спискам.

2. Частота поступлений ширококестельных фреймов (например, должно быть 3 с/на определенный узел, а пришло 1000 фреймов).

3. Количество фреймов с чужим MAC-адресом.

4. Большое количество ширококестельных фреймов.

Сигнатуры:

1. Несовпадение текущего MAC-адреса или идентификатора ни с одним элементом из элементов списка.

2. Превышение частоты некоторого заранее установленного порога с/на определенный узел.

3. Превышение количества пришедших на интерфейс коммутатора фреймов с чужим MAC-адресом.

4. Количество ширококестельных фреймов превысило допустимые показатели.

5. Фреймы с другим VLAN ID (идентификатор VLAN, указывающий, какому VLAN'у принадлежит фрейм. Диапазон возможных значений VID от 0 до 4095).

Атаки:

1. Перехват фреймов.
2. На интерфейс коммутатора пришел фрейм с чужим MAC-адресом.

3. Компрометация на ARP (1 хост подменяется другим).

4. Broadcast storm (считается, что приемлемая доля ширококестельного трафика должна составлять 10% от трафика всей сети. Значение в 20% и выше должно классифицироваться как атака).

5. Попытка подмена VLAN.

Сетевой уровень

Сетевой уровень предоставляет функции для передачи отдельных компонентов данных по сети между указанными оконечными устройствами.

Основные задачи сетевого уровня:

- адресация пакетов;
- перевод логических имен в физические сетевые адреса (и обратно);
- выбор маршрута, по которому пакет доставляется по назначению (если в сети имеется несколько маршрутов).

Протоколы сетевого уровня модели OSI определяют адресацию и процессы, которые позволяют упаковывать и передавать данные транспортного уровня. Инкапсуляция сетевого уровня обеспечивает прохождение данных по сети к адресату (или другой сети) с минимальной нагрузкой.

Наиболее часто на сетевом уровне используются протоколы: IP, IPX, NetBEUI.

Критерии:

1. Статистическая устойчивость интенсивности пропускной способности сети.
2. Допустимость уровня фрагментации пакетов.

Набор показателей:

1. Тип и размер пакетов (хостам рекомендуется отправлять пакеты размером более чем 576 байт, только если они уверены, что принимающий хост или промежуточная сеть готовы обслуживать пакеты такого размера).

2. Результаты трассировки (мы знаем, какой маршрут должен быть обычно, выполняем Tracert (Trace route), а он другой).

3. Уровень фрагментации пакетов.

Сигнатуры:

1. Отсутствие маршрутов в сети.
2. Пропажа пакетов (ошибки маршрутизации).
3. Превышение частоты некоторого заранее установленного порога с/на определенный узел.
4. Внезапное уменьшение пропускной способности сети.

5. Повышенный уровень фрагментации пакетов.

6. Частые повторные передачи пакетов.

Атаки:

1. Подмена default gateway (шлюза по умолчанию).
2. Нарушение процесса маршрутизации.
3. DDOS-атака.

Установленные задачи порождают данные критерии, потому что, исходя из этих критериев, можно сформулировать набор показателей, сигнатур и атак, определяющих сетевой уровень.

Литература:

1. Таненбаум, Э., Уэзеролл Д. Компьютерные сети. 5-е изд. — СПб.: Питер, 2012. — 960 с.
2. Олифер, В.Г., Олифер Н.А. Компьютерные сети. Принципы, технологии, протоколы: Учебник для вузов. 4-е изд.-СПБ.: Питер, 2010. — 944 с.: ил.
3. http://infocisco.ru/network_model_osi.html

Транспортный уровень

Транспортный уровень определяет сервисы для сегментации, передачи и сборки данных для отдельных сообщений между оконечными устройствами, производит разбивку передаваемых данных на блоки, помещаемые в пакеты, обеспечивает доставку пакетов и восстановление принимаемых данных. Доставка сегментов возможна как с установлением соединения (виртуального канала), так и без. Транспортный уровень является пограничным и связующим между верхними тремя, сильно зависящими от приложений, и тремя нижними уровнями, сильно привязанными к конкретной сети.

Наиболее распространенные протоколы транспортного уровня: TCP, UDP, NetBEUI.

Критерии:

2. Надежность соединения.
3. Способность к обнаружению и исправлению ошибок передачи.
4. Ложность порядка номеров сообщений.

Набор показателей:

1. Проходит/не проходит сегмент.
2. Совокупность количества и портов (существуют АКЛ блокирующие только по IP — адресам, а есть и другие, которые блокируют и по IP и по портам).

Сигнатуры:

1. Блокируются определенные службы.
2. Аномальное количество сегментов на определенный порт.
3. Аномальное количество запросов на порты.
4. Размер сегментов (размер сегмента представляет собой обычно небольшое число (от 500 байт до 5 килобайт)).
5. Большая или заведомо неполная последовательность формирования сегментов.

Атаки:

1. Подмена UDP пакетов.
2. Посылка/приемка «тяжелых» сегментов.
3. Атаки LAND: № порта отправителя = № порта получателя → заикливание.

Транспортный уровень обеспечивает приложениям или верхним уровням стека — прикладному и сеансовому — передачу данных с той степенью надежности, которая им требуется.

Расчет на усталость винта с упорной резьбой в программной среде SolidWorks

Чемезов Денис Александрович, магистр, преподаватель
Владимирский индустриальный колледж

В статье представлено исследование усталостных характеристик материала винта с упорной резьбой при его многократном нагружении на основании анализа напряженно-деформированного состояния и расчета запаса прочности изделия.

Ключевые слова: виток, напряжение, винт, усталость материала.

Грузовые винты с упорной резьбой применяются в условиях передачи значительного одностороннего осевого усилия [1]. Характерной особенностью упорной резьбы является профиль — несимметричная трапеция, которая одной боковой стороной образует рабочий угол профиля 3° . Наибольшему износу, в процессе эксплуатации механизма винт — гайка, будут подвергаться рабочие боковые стороны витков упорной резьбы. Величина износа витков будет зависеть от физико-механических свойств и термической обработки материалов деталей входящих в пару (винт и гайка), качества и точности изготовления резьбовых деталей, геометрии витка (радиус закругления впадины резьбы) и других факторов.

В результате многократного действия на деталь переменной нагрузки происходит процесс постепенного накопления повреждений приводящих к изменению свойств материала, образованию трещин, их развитию и последующему разрушению за определенное время [2]. Прогноз работоспособности винта с упорной резьбой до усталостного разрушения витков, с учетом величины шага, эффективно и с высокой достоверностью можно определить,

применяя современные компьютерные программы инженерного анализа.

Расчет на усталость винта с упорной резьбой выполнялся способом имитационного моделирования процесса нагружения рабочей боковой стороны витка в модулях «Динамический анализ», «Статический анализ» и «Усталость (постоянная амплитуда)» программной среды SolidWorks. Объектом исследования на усталость являлся винт (с упорной резьбой) наружным диаметром 32 мм, общей длиной 120 мм и шагом резьбы 6 мм. Остальные размеры элементов витка винта были рассчитаны в соответствии с ГОСТ 10177–82 [3]: средний диаметр резьбы — 27,5 мм; внутренний диаметр резьбы — 23 мм; рабочая высота профиля — 4,5 мм; ширина вершины и впадины профиля — 1,583 мм. Материал винта — конструкционная сталь со следующими физико-механическими свойствами: плотность — 7700 кг/м³; предел текучести — 620,42 Н/мм²; предел прочности при растяжении — 723,82 Н/мм²; модуль упругости — 210000 Н/мм²; коэффициент Пуассона — 0,28; модуль сдвига — 79000 Н/мм².

Построенная объемная твердотельная модель винта с упорной резьбой представлена на рис. 1.

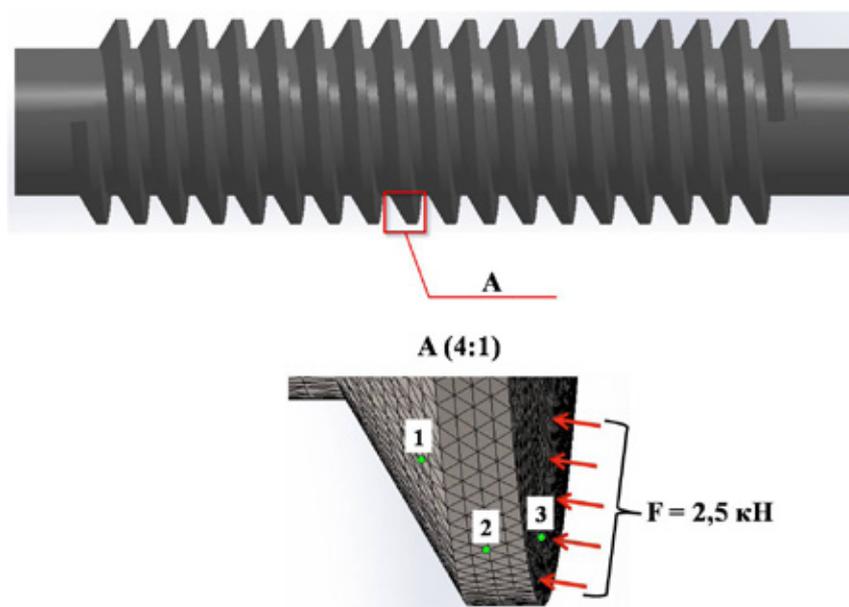


Рис. 1. Объемная твердотельная модель винта с упорной резьбой (сверху) и выносной элемент (снизу) отображающий форму витка

Сетка на витке — разбиение исследуемых поверхностей витка винта на элементы (66687). Размер элемента влияет на точность полученных результатов. На рис. 1 обозначены: F — величина прикладываемой нагрузки; стрелки — направление прикладываемой нагрузки; 1, 2 и 3 — расположение контрольных точек на поверхностях витка, по которым получены результаты на всем временном диапазоне моделирования процесса. Процесс выполнялся при комнатной температуре (22 °С). Длительность действия нагрузки на рабочую боковую сторону витка — 5 с.

Результаты моделирования в модуле «Динамический анализ» представлены в виде эпюр (рис. 2), которые характеризуют напряженно-деформированное состояние витка винта, и зависимостей первого, второго и третьего главных напряжений материала в контрольных точках 1–3 от времени приложения нагрузки (рис. 3–5). Решение производилось в программе FFEPlus методом повторов NR (Ньютон-Рафсон). Решающая программа FFEPlus является итеративной, т.е. решение уравнений способом аппроксимации, где в каждой итерации предполагается решение, а связанные с ним погрешности под-

считаны. Повторы продолжаются до тех пор, пока погрешности не становятся приемлемы.

Наиболее напряженные участки сосредоточены у впадины рабочей боковой стороны витка винта. Максимальная величина напряжения von Mises составляет 57,9 Н/мм². Т. к. предел текучести материала равен 620,42 Н/мм², то предельно допустимая нагрузка на виток винта, при котором не происходит разрушение, будет составлять 25 кН. Деформации отмечены на боковых сторонах витка ближе к внутреннему диаметру резьбы.

Наибольшее результирующее перемещение (в трех направлениях) материала витка от исходного положения наблюдается у вершины, наименьшее — у впадины. Стрелками различных цветов, на эпюре результирующей скорости перемещения, указываются направление и величина исследуемого параметра.

Характер напряженного состояния определяется изменением величин главных нормальных напряжений (касательные напряжения в данном исследовании не учитывались) материала. Значения первого главного напряжения (координатная ось X) в контрольных точках положительны, материал подвергается растягивающему воздей-

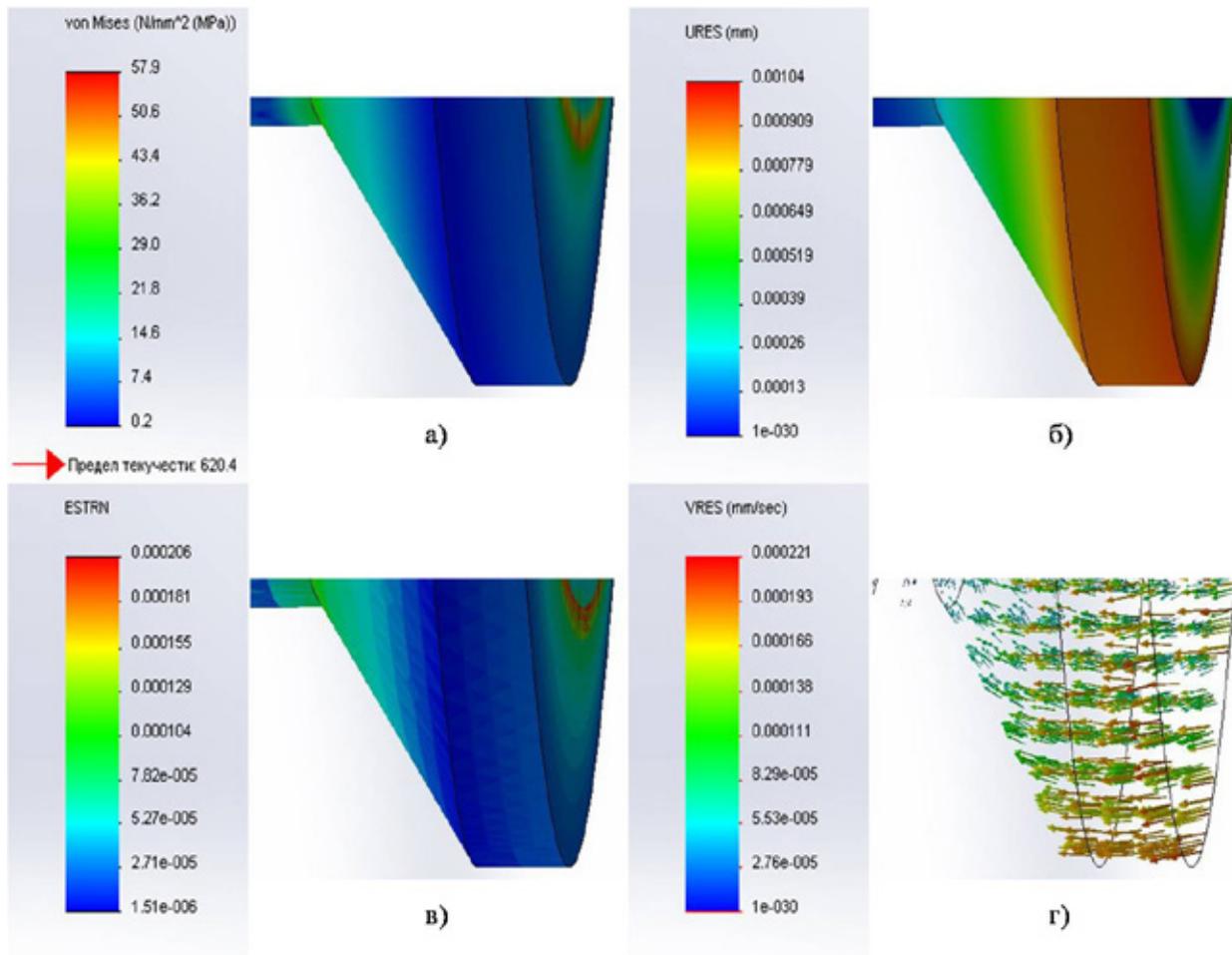


Рис. 2. Напряженно-деформированное состояние витка винта после 5 секунд нагружения: а — эпюра эквивалентного напряжения von Mises; б — эпюра результирующего перемещения; в — эпюра результирующей деформации; г — эпюра результирующей скорости перемещения (эпюра векторов)

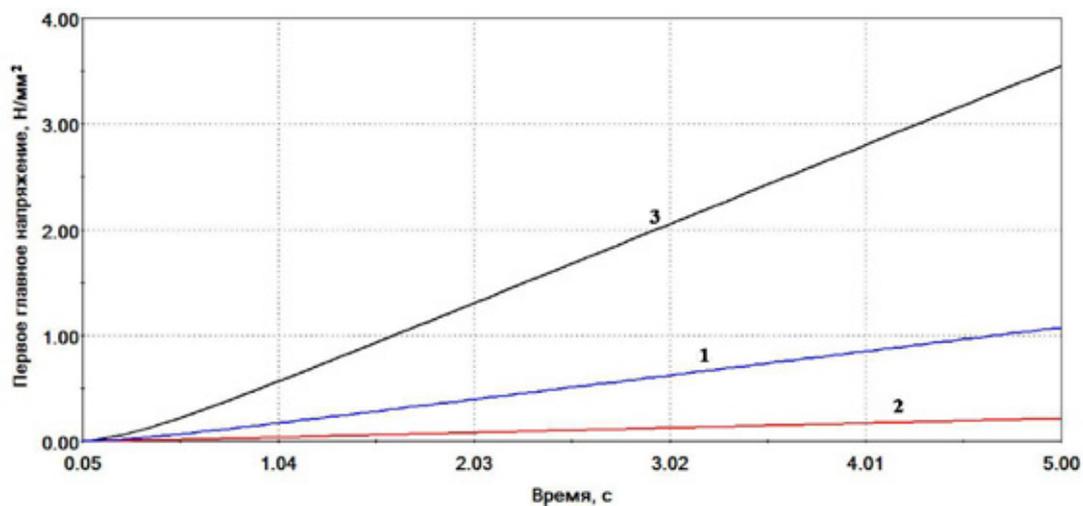


Рис. 3. Зависимости изменения величины первого главного напряжения материала в контрольных точках 1–3 (см. рис. 1) от времени приложения нагрузки на виток винта

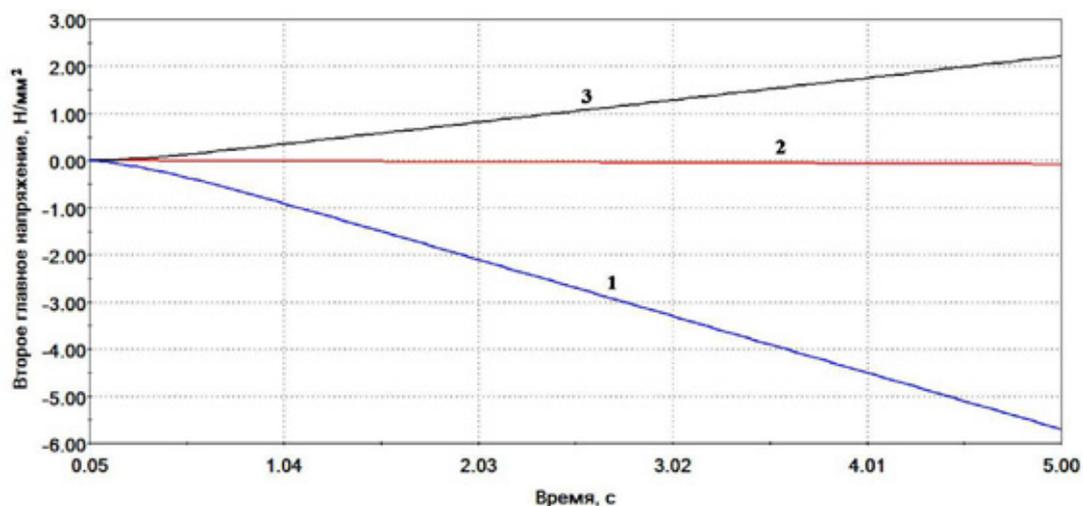


Рис. 4. Зависимости изменения величины второго главного напряжения материала в контрольных точках 1–3 (см. рис. 1) от времени приложения нагрузки на виток винта

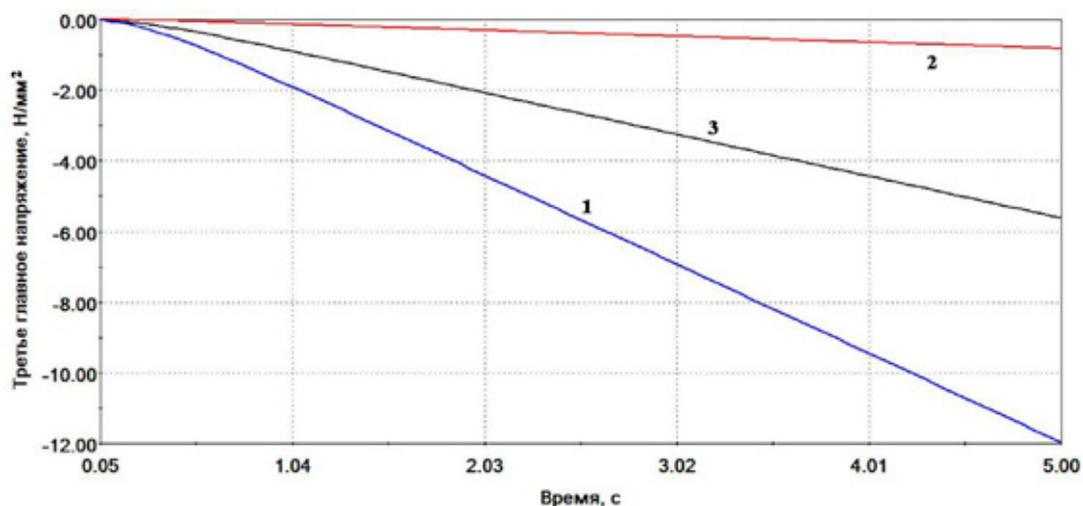


Рис. 5. Зависимости изменения величины третьего главного напряжения материала в контрольных точках 1–3 (см. рис. 1) от времени приложения нагрузки на виток винта

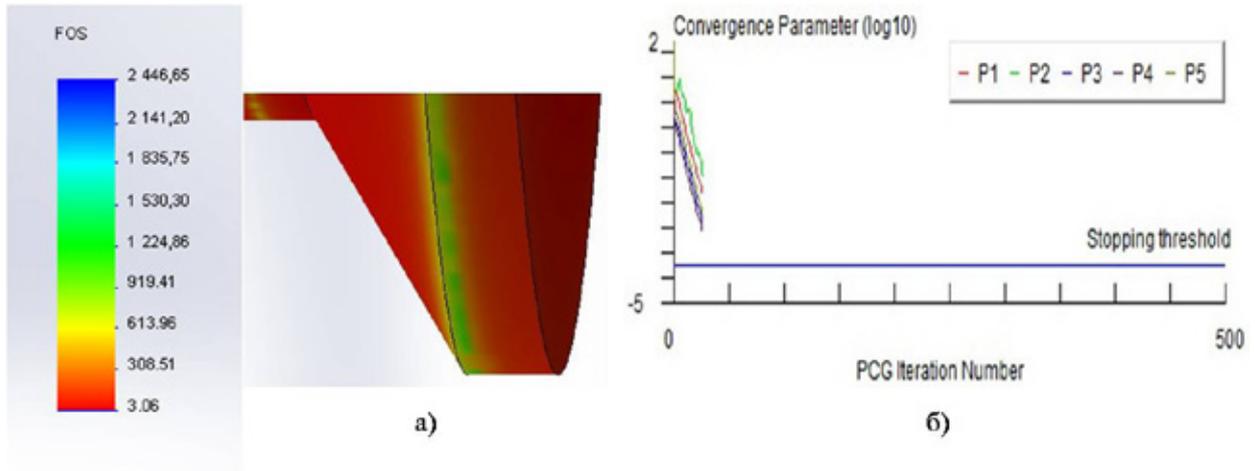


Рис. 6. Результаты расчета запаса прочности материала по критерию максимального напряжения von Mises: а — эпюра распределения запаса прочности (коэффициент); б — график сходимости результатов решения

ствию. Наибольшая величина первого главного напряжения наблюдается в контрольной точке 3 на рабочей боковой стороне витка с углом профиля 3° . Значения второго главного напряжения (координатная ось Y) в контрольных точках и положительны и отрицательны, т.е. происходит и растяжение в контрольной точке 3 и сжатие материала в контрольных точках 1 (боковая сторона витка с углом профиля 30°) и 2 (вершина витка). Значения третьего главного напряжения (координатная ось Z) в контрольных точках отрицательны. Максимальное сжатие материала определено в контрольной точке 3 на 5 с действия нагрузки.

Результаты расчета запаса прочности материала витка винта представлены на рис. 6. Решение выполнялось в модуле «Статический анализ» h-адаптивным методом с целевой точностью 98% и максимальным количеством циклов 3.

Нахождение значений коэффициента запаса прочности по критерию максимального напряжения von Mises позволяет судить о надежности витка и изделия в целом. Этот критерий определяет, что пластичный материал начинает растягиваться, когда эквивалентное напряжение достигает предела текучести материала. В соответствии с эпюрой минимальное значение коэффициента запаса прочности составляет 3,1. Это указывает на то, что материал при данных условиях еще не податлив, т.е. процесс текучести материала не происходит.

График сходимости отображает распределение результатов решения h-адаптивным методом по состояниям во времени. На графике отображены следующие параметры (условно обозначенные P1 — P5): целевая точность, максимальное напряжение von Mises, максимальное результирующее перемещение, суммарная энергия напряжения и количество узлов.

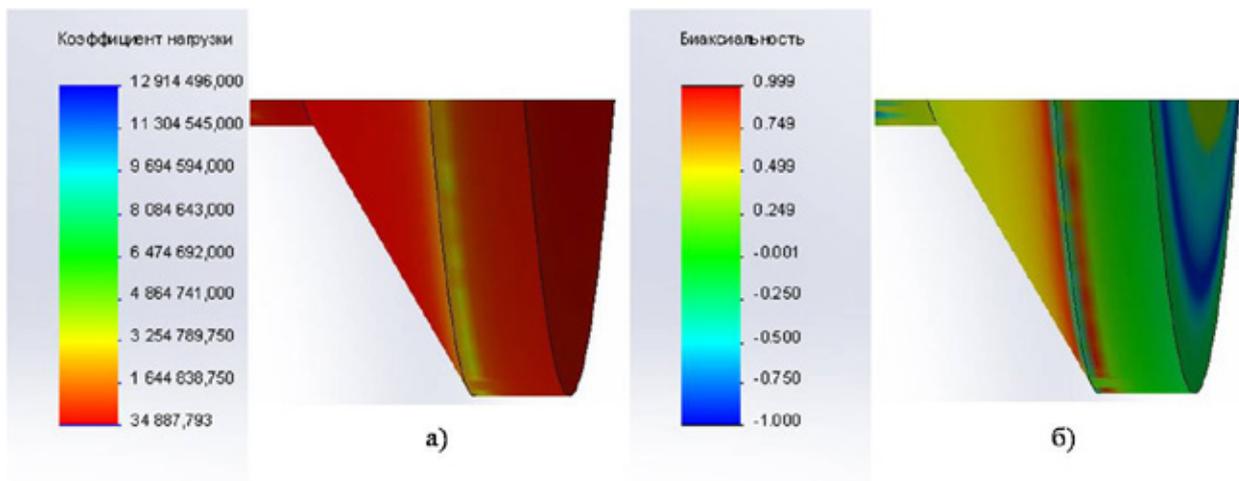


Рис. 7. Результаты расчета на усталость материала витка при цикле нагружения 1000 раз и отсчете от нуля: а — эпюра коэффициента нагрузки; б — эпюра (индикатор) биаксиальности

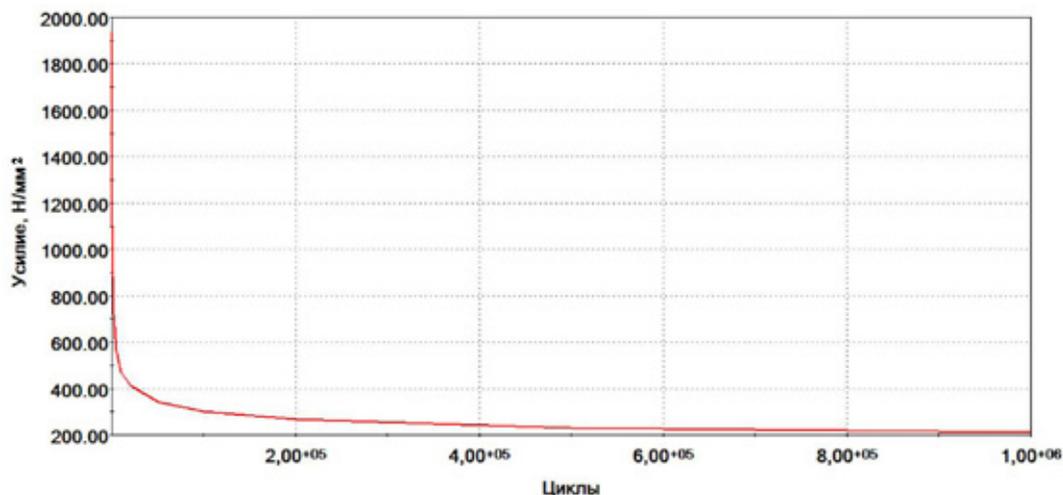


Рис. 8. Зависимости изменения величины усилия на виток винта от количества циклов нагружения

Результаты расчета на усталость материала представлены в виде эпюр (рис. 7) и зависимости изменения величины усилия на виток винта от количества циклов нагружения (рис. 8). Альтернативное напряжение материала получено разностью максимального и минимального главных напряжений (интенсивность напряжения) при коэффициенте местной концентрации напряжений равным 1.

Эпюра коэффициента нагрузки определяет локальные участки деформированного материала где возможны разрушения. Наименее нагруженный элемент — вершина витка. При повторных нагружениях материал витка имеет высокую усталостную прочность.

Эпюра биаксиальности (двухостности) показывает отношение меньшего главного знакопеременного напряжения к большему главному знакопеременному напряжению. Биаксиальность характеризует неравенство амплитуд главных напряжений в точке и характеризует пространственную неравномерность распределения главных напряжений по объёму тела в каждой

точке. Рассчитывается в виде коэффициента местной концентрации напряжений (коэффициент уменьшения усталостной прочности). Участки на эпюре обозначенные красным цветом (коэффициент равен 1) соответствуют случаю равнонапряженного состояния материала.

Кривая усталости построена на основании S-N метода. Этот метод позволяет выполнять анализ общей долговечности изделия (многоцикловое усталостное разрушение). Метод анализа построен на основе применения усталостных кривых Вёллера и применим в тех случаях, когда изделие деформируется, в основном, в упругой области, а возникающие пластические деформации материала носят существенно локальный характер [4].

На графике видно, что усталостная прочность материала витка снижается примерно в четыре раза при 5000 циклах нагружения.

Подобной методикой можно определять усталостные характеристики материала витков крепежных и ходовых резьб с мелкими и основными шагами.

Литература:

1. Резьбы для передачи движения. URL: <http://www.viktoriastar.ru/rezba-dlia-peredachi-dvijenia.html> (дата обращения: 21.06.2015).
2. Усталость материала. URL: https://ru.wikipedia.org/wiki/%D3%F1%F2%E0%EB%EE%F1%F2%FC_%EC%E0%F2%E5%F0%E8%E0%EB%E0 (дата обращения: 21.06.2015).
3. ГОСТ 10177–82. Резьба упорная. Профиль и основные размеры.
4. Испытания материала на усталость, кривая усталости (кривая Вёллера). URL: <http://sopromato.ru/soprotivlenie-ustalosti/krivaya-ustalosti-velera.html> (дата обращения: 21.06.2015).

Разработка модуля приема видеoinформации с ПЗС-сигнального процессора

Черняк Алексей Андреевич, студент

Национальный исследовательский университет «Московский институт электронной техники»

В наше время, когда человек освоил не только небо, но и приступил к исследованию космического пространства, изучение поверхности Земли не потеряло своей актуальности и приобрело новые масштабы.

На орбиту нашей планеты на данный момент выведено около сотни космических летательных аппаратов, работающих над дистанционным зондированием нашей планеты.

Дистанционное зондирование Земли (ДЗЗ) — это процесс, в ходе которого собираются данные о Земле и объектах на ее поверхности без непосредственно контакта с помощью аппаратуры, установленной на космических аппаратах, самолетах или других летательных объектах.

К ДЗЗ могут относиться не только снимки непосредственно поверхности планеты, но и изображения, получаемые в одном или нескольких разделах электромагнитного спектра. Помимо видимой области спектра, снимки могут быть получены в радиодиапазоне и инфракрасном спектре.

ДЗЗ играет большую роль в решении множества задач в различных сферах человеческой жизнедеятельности. Землепользование и сельское хозяйство, получение данных для составления карт неизученных участков земли или водного пространства, нахождение необработанных нефтегазовых месторождений, военная раз-

ведка — во всех этих, а также многих других областях применяются снимки ДЗЗ.

К сожалению, на данный момент на орбите Земли находится недостаточное количество спутников для решения множества задач, которые стоят перед дистанционным зондированием. Требуется постоянная разработка новых, удовлетворяющих современным требованиям модулей, работающих на основе ПЗС-фотоприемников (ФПЗС).

ФПЗС по своим возможностям являются многофункциональными приборами, что и позволило объединить оптические системы и цифровые электронные процессоры в общую конструкцию, получившую название оптоэлектронные преобразователи с ФПЗС.

Свет, который является источником сигнала, поступает на оптический узел, откуда в режиме реального времени попадает на ФПЗС, откуда в виде последовательности отсчетных сигналов поступает на цифровой узел. [1]

В данной статье особое значение уделяется, как раз процессу приема видеосигнала с ФПЗС для дальнейшей обработки и передачи изображений.

В качестве языка описания для разрабатываемого модуля был выбран высокоуровневый язык Verilog HDL. Для исследования аппаратной реализации использовалась ПЛИС типа FPGA семейства Virtex 5, разработанной

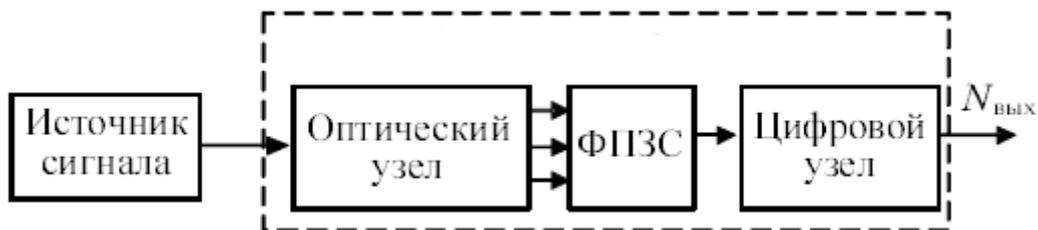


Рис. 1. Структурная схема оптоэлектронного преобразователя

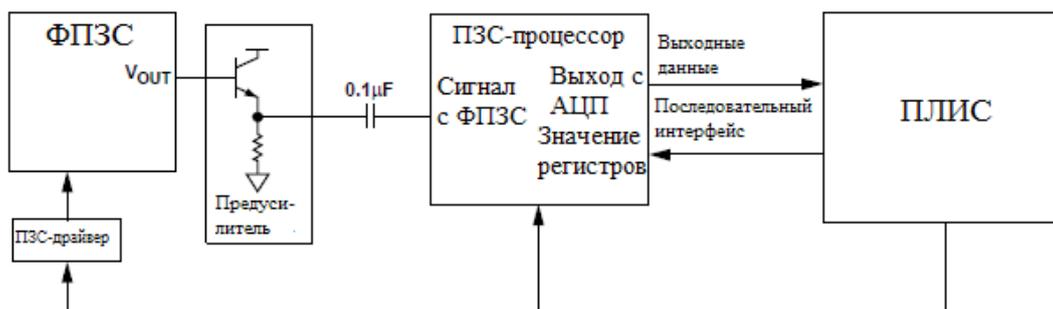


Рис. 2. Функциональная схема цифрового узла

фирмой Xilinx. В качестве среды проектирования была выбрана ISE Design Suite, соответствующая данной ПЛИС.

При поступлении сигнала с ФПЗС главной задачей является обработка поступающего сигнала. Так как вместе с сигналом поступают и шумы, то нам необходимо от них избавиться.

Для устранения шумов используют метод двойной коррелированной выборки сигнала (ДКВ). Концепция ДКВ основана на том факте, что в видеосигнале и опорном сигнале существует одна и та же шумовая компонента. А именно, когда выходной каскад ПЗС-матрицы переносит зарядовый пакет, он преобразуется в выходное напряжение. Для этого используется плавающая считывающая диффузия, чтобы собирать зарядовые пакеты сигнала при их переносе с ПЗС-матрицы. По мере переноса зарядовых пакетов напряжение на считывающей диффузии падает. Это напряжение представляет собой данные видеосигнала и усиливается на матрице усилителем с термокомпенсацией. Прежде чем следующий зарядовый пакет сможет быть перенесен в область диффузии, она должна быть полностью очищена от предыдущего пакета. Это

выполняет опорный сигнал сброса, который содержит такую же компоненту теплового шума, что и видеосигнал матрицы. Если заранее сохранить эту компоненту шума, то потом ее легко вычесть из результирующего сигнала, который содержит шум и полезный сигнал. [2]

ДКВ лучше всего работает при использовании двух быстродействующих цепей выборки и фиксации, подсоединенных к выходному сигналу фотоприемника через низкочастотный фильтр.

При поступлении сигнала с ПЗС сигналы SHP и SHD принимают значение «1» при разных значениях.

Сигнал SHP используется для фиксации опорного уровня. Сигнал SHD используется для фиксации уровня данных, поступающих с ФПЗС. Сигнал Dataclk необходим для тактирования АЦП, а также для снятия необходимых данных. [3]

Следующей задачей являлась реализация модуля приема команд усиления по интерфейсу из блока управления, а также их запись в АЦП.

Усиление происходит в диапазоне от 6 до 40 дБ с помощью 10-битного АЦП через интерфейс.

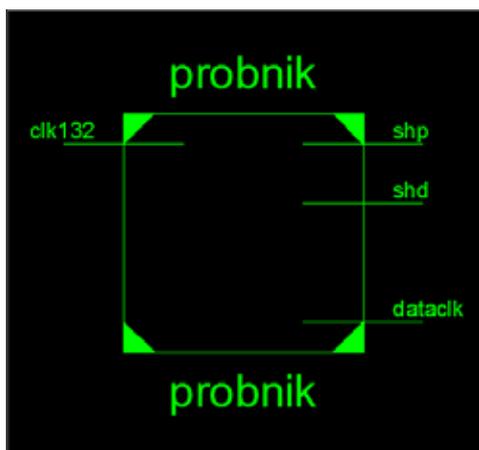


Рис. 3. Символьное изображение модуля, реализующего ДКВ



Рис. 4. Результаты функционального моделирования

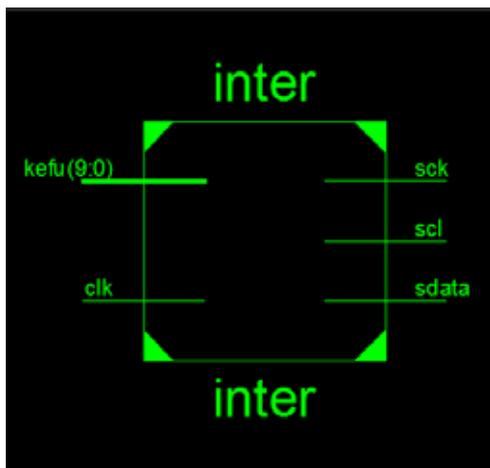


Рис. 5. Символьное изображение модуля, производящего усиление

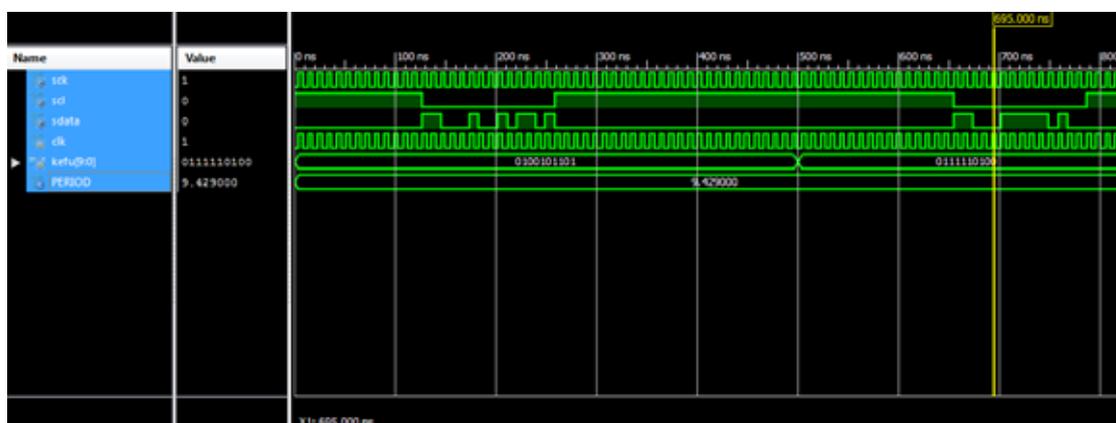


Рис. 6. Результаты функционального моделирования

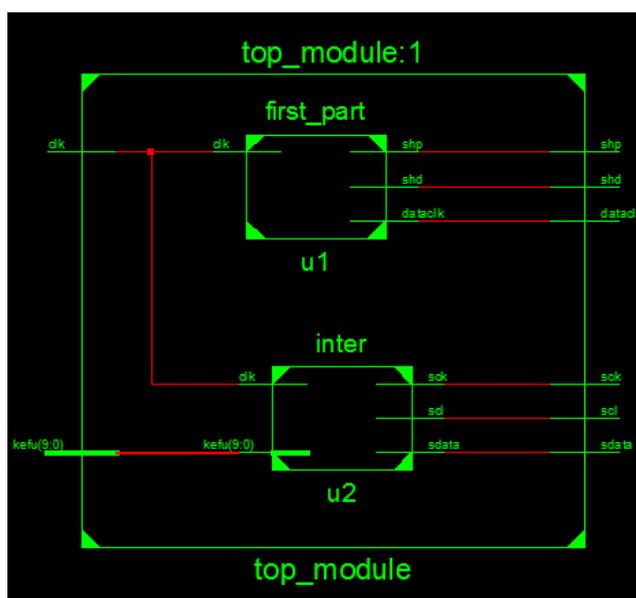


Рис. 7. Символьное изображение итогового модуля

Минимальное усиление в 6 дБ необходимо для того, чтобы соответствовать входному сигналу в 1 В с АЦП при полномасштабном диапазоне АЦП в 2 В.

Формула для расчета значения усиления в дБ:

$$K_y(dB) = (K_{y_код} * 0.035dB) + 5.3dB, \quad (2)$$

где K_y — значение коэффициента усиления в децибелах,

$K_{y_код}$ — код коэффициента усиления.

На вход, кроме тактовой частоты, необходимой для работы, подается шина, содержащая кодовое значение коэффициента усиления.

kefu [9:0] — шина со значением коэффициента усиления.

В свою очередь, на выходе необходимо получить три сигнала: SCK — сигнал, совпадающий с сигналом так-

товой частоты; SL — сигнал, который имеет значение «0» при всех загруженных регистрах системы; SData — выходной сигнал, который представляет собой последовательность битов адреса, тестового бита и битов данных со значением коэффициента усиления.

Стоит отметить, что реализованная система модулей является лишь частью огромной системы электронных модулей, которые входят в состав космических аппаратов для дистанционного зондирования Земли.

В сумме проект занял менее 1% процента ПЛИС. Это легко объясняется тем, что данные модули являются всего лишь частью системы модулей, которые используются в космических аппаратах для дистанционного зондирования Земли.

Литература:

1. Молодняков, С. А. Оптоэлектронные процессоры с ПЗС-фотоприемниками. Конвейерная обработка сигналов // Информационно-управляющие системы. Вып. 6 М: 2008. — с. 1,4
2. Дамьяновски, В. CCTV. Библия видеонаблюдения. Цифровые и сетевые технологии // М: Ай-Эс-Эс Пресс, 2006 — с. 42
3. http://www.analog.com/media/en/technical-documentation/data-sheets/AD9943_9944.pdf Дата посещения — 10 июня 2015 г.

Упругопластическая деформация металлического листа на трехвалковых вальцах

Шинкин Владимир Николаевич, доктор физико-математических наук, профессор
Национальный исследовательский технологический университет «МИСиС»

Предложен математический метод определения оптимальных технологических параметров гибки металлического листа на трехвалковых вальцах. Результаты исследований могут быть использованы на металлургических заводах при производстве металлических труб.

Ключевые слова: *металлический лист, трехвалковые вальцы, упругопластическая деформация.*

Листогибочные вальцы. Для получения изделий различной конфигурации из металлического листа используют множество приспособлений. Одно из них — листогибочные вальцы, которые можно классифицировать по нескольким признакам: по количеству валков (двух-, трёх- и четырёхвалковые), по типу привода (механические, пневматические, электромеханические и гидравлические) и по взаимному расположению валков (симметричные и несимметричные/асимметричные).

Трехвалковые вальцы (рис. 1) применяются для производства изделий цилиндрической, овальной и конической формы путем гибки листового металла. С помощью них изготавливают трубы, желоба, элементы воздухопроводов, обечайки, бочки и всевозможные кожухи.

Принцип работы трехвалковых вальцов основан на противоположно направленном вращении валков, благодаря которому происходит захват листового материала и его гибка по заданному радиусу. Для облегчения подачи листов и выемки изделий, согнутых в замкнутую окружность, трехвалковые вальцы комплектуются съемным и регулируемым по прижиму передним валом.

Деформация металлического листа на трехвалковых вальцах. Пусть t — шаг между нижними валками, H_2 — величина обжатия срединной поверхности листа на втором валке, h — толщина листа, R — радиус рабочих валков, $R_0 = R + h/2$; σ_T , E , Π_p и Π_c — предел текучести, модуль Юнга и модули упрочнения металла при растяжении и сжатии; ρ_i и $\varepsilon_i = 1/\rho_i$ — радиусы кривизны и кривизна срединной линии листа в точках ее касания с валками, φ_i — углы точек касания листа и валков ($i = 1, 2, 3$) (рис. 2).

Коэффициент пружинения нейтральной линии листа при радиусе кривизны ρ равен [1–3]

$$\beta(\rho) = \left\{ 1 - \left[3\xi - 4\xi^3 + \eta(1 - 3\xi + 4\xi^3) \right] \right\}^{-1}, \quad \xi = \rho \sigma_T / (h E), \quad \eta = (\Pi_p + \Pi_c) / (2E).$$



Рис. 1. Трехвалковые вальцы с гидравлическим приводом

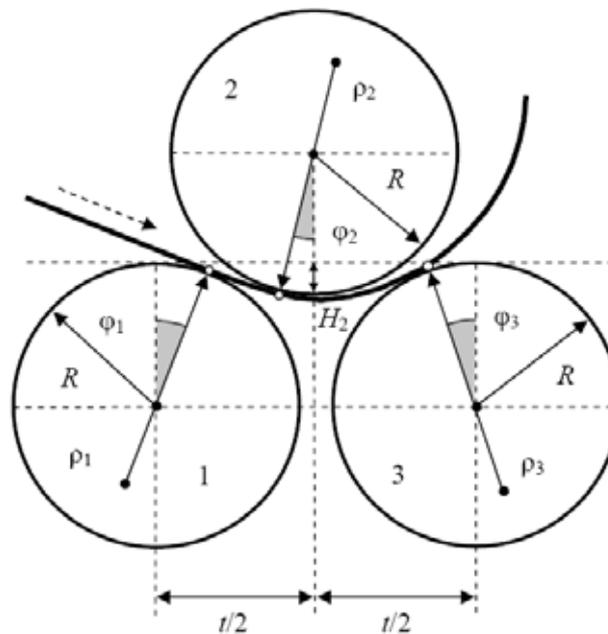


Рис. 2. Схема гибки металлического листа на трехвалковых вальцах

Введем две локальные прямоугольные декартовы системы координат $y-z$ в точках касания листа с валками вальцов. Оси z направим по касательной к поверхности валков слева направо, а оси y — перпендикулярно к оси z в сторону центров соответствующих валков. Будем аппроксимировать в этих системах координат нейтральную линию листа (между соседними точками касания листа и валков) с помощью кубических полиномов вида $y(z) = a z^2 - b z^3$ (метод Шинкина [1, 2]). Обозначим a_i и b_i — коэффициенты кубических полиномов в i -ой системе координат.

Составим уравнения для коэффициентов кубических полиномов, кривизны и радиусов кривизны нейтральной линии листа в точках его касания с валками.

Первый и второй валки:

$$z_2 = \left(\frac{t}{2} - R_0 \sin \varphi_1 - R_0 \sin \varphi_2 \right) \cos \varphi_1 + [H_2 - R_0(1 - \cos \varphi_1) - R_0(1 - \cos \varphi_2)] \sin \varphi_1,$$

$$y_2 = - \left(\frac{t}{2} - R_0 \sin \varphi_1 - R_0 \sin \varphi_2 \right) \sin \varphi_1 + [H_2 - R_0(1 - \cos \varphi_1) - R_0(1 - \cos \varphi_2)] \cos \varphi_1,$$

$$a_1 = \frac{3y_2 + \operatorname{tg}(\varphi_1 - \varphi_2)z_2}{z_2^2}, \quad b_1 = \frac{2y_2 + \operatorname{tg}(\varphi_1 - \varphi_2)z_2}{z_2^3},$$

$$\varepsilon_2 = 2a_1, \quad \rho_2 = \frac{1}{2a_1}, \quad \varepsilon_2 = \frac{2a_1 - 6b_1z_2}{\left[1 + (2a_1z_2 - 3b_1z_2^2)^2\right]^{\frac{3}{2}}}, \quad \rho_2 = \frac{1}{\varepsilon_2}.$$

Второй и третий валки:

$$z_3 = \left(\frac{t}{2} + R_0 \sin \varphi_2 - R_0 \sin \varphi_3\right) \cos \varphi_2 + [H_2 - R_0(1 - \cos \varphi_2) - R_0(1 - \cos \varphi_3)] \sin \varphi_2,$$

$$y_3 = -\left(\frac{t}{2} + R_0 \sin \varphi_2 - R_0 \sin \varphi_3\right) \sin \varphi_2 + [H_2 - R_0(1 - \cos \varphi_2) - R_0(1 - \cos \varphi_3)] \cos \varphi_2,$$

$$a_2 = \frac{3y_3 - \operatorname{tg}(\varphi_2 + \varphi_3)z_3}{z_3^2}, \quad b_2 = \frac{2y_3 - \operatorname{tg}(\varphi_2 + \varphi_3)z_3}{z_3^3},$$

$$\varepsilon_3 = 2a_2, \quad \rho_3 = \frac{1}{2a_2}, \quad \varepsilon_3 = \frac{2a_2 - 6b_2z_3}{\left[1 + (2a_2z_3 - 3b_2z_3^2)^2\right]^{\frac{3}{2}}}, \quad \rho_3 = \frac{1}{\varepsilon_3}.$$

Граничные условия задачи имеют вид

$$\rho_{12} = \rho_1, \quad \rho_{21} = -\rho_{23}, \quad \rho_{32} = \beta(\rho_{23})\rho_{23}.$$

Результаты расчетов. Решая систему уравнений при $t = 0,27 \text{ м}$, $R = 0,125 \text{ м}$, $h = 0,01 \text{ м}$, $E = 2 \cdot 10^{11} \text{ Па}$, $\sigma_T = 500 \cdot 10^6 \text{ Па}$, $H_2 = 0,024 \text{ м}$ и $\rho_1 = \infty \text{ м}$, получаем $\rho_2 = 0,225 \text{ м}$, $\rho_3 = -0,272 \text{ м}$, $\varphi_1 = 15,83^\circ$, $\varphi_2 = 3,16^\circ$, $\varphi_3 = 20,63^\circ$ (рис. 3).

Производство труб из стального листа. В практике производства труб большого диаметра для магистральных газонефтепроводов утвердился процесс формовки трубной заготовки из толстого стального листа по схеме JCOE [1-37]. Перед формовкой труб стальной лист правят на многороликовых (многовалковых) листопрямильных машинах [33-36]. Дефект образования гофра продольной кромки стального листа на кромкогибочном прессе изучался в работах [1, 2, 10-22], вредное влияние остаточных напряжений в стенке стального листа после трубоформовочного пресса на процесс экспандирования трубы — в [1, 2, 23], дефект «точка перегиба» при изгибе стального листа на трубоформовочном прессе — в [1, 2, 25], дефект несплавления сварного продольного шва при сборке трубы — в [1, 2, 31], дефект стального листа раскатной пригар с риской — в [1, 2, 32], процессы прокатки стального листа для производства труб — в [38-47].

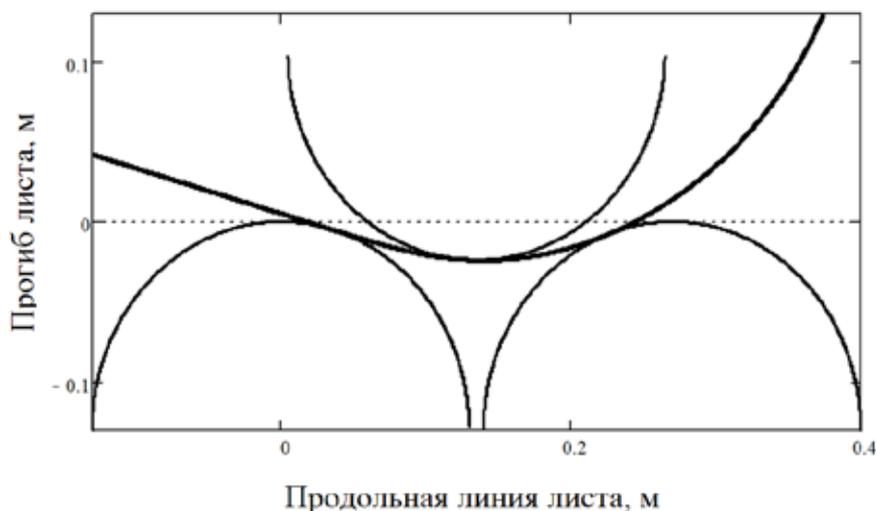


Рис. 3. Срединная линия листа между тремя валками вальцов

Литература:

1. Шинкин, В. Н. Механика сплошных сред для металлургов. — М: Изд. Дом МИСиС, 2014. — 628 с.
2. Шинкин, В. Н. Сопротивление материалов для металлургов. — М: Изд. Дом МИСиС, 2013. — 655 с.
3. Шинкин, В. Н. Сопротивление материалов. Простые и сложные виды деформаций в металлургии. — М: Изд. Дом МИСиС, 2008. — 307 с.
4. Шинкин, В. Н. Теоретическая механика для металлургов. — М: Изд. Дом МИСиС, 2012. — 679 с.
5. Шинкин, В. Н. Математическая модель правки стальной полосы на пятироликовой листопрямильной машине фирмы Fagor Agrasate // Молодой ученый. 2015. № 8 (88). с. 344–349.
6. Шинкин, В. Н. Правка толстой стальной полосы на одиннадцатироликовой листопрямильной машине линии поперечной резки фирмы Fagor Agrasate // Молодой ученый. 2015. № 9 (89). с. 359–365.
7. Шинкин, В. Н. Расчет технологических параметров правки тонкой стальной полосы на пятнадцатироликовой листопрямильной машине фирмы Fagor Agrasate // Молодой ученый. 2015. № 10 (90). с. 361–366.
8. Шинкин, В. Н. Холодная правка толстого стального листа на девятироликовой машине фирмы SMS Siemag на металлургическом комплексе стан 5000 // Молодой ученый. 2015. № 11 (91). с. 467–472.
9. Шинкин, В. Н. Четырехроликовый режим холодной правки толстого стального листа на пятироликовой листопрямильной машине фирмы Fagor Agrasate // Молодой ученый. 2015. № 12 (92).
10. Шинкин, В. Н., Уандыкова С. К. Гибка стальной листовой заготовки на кромкогибочном прессе при производстве труб большого диаметра // Известия Кыргызского государственного технического университета им. И. Раззакова. 2009. № 16. с. 110–112.
11. Шинкин, В. Н. Гофр продольной кромки листа при его формовке на кромкогибочном прессе // Машиностроение и безопасность жизнедеятельности. 2009. Вып. 6. с. 171–174.
12. Шинкин, В. Н., Коликов А. П. Моделирование процесса пластического формоизменения листовой заготовки для производства труб большого диаметра // Обработка металлов давлением, 2011. № 3 (28). с. 7–11.
13. Шинкин, В. Н., Коликов А. П. Формовка листовой заготовки в кромкогибочном прессе и условие возникновения гофра при производстве труб магистральных трубопроводов // Производство проката. 2011. № 4. с. 14–22.
14. Шинкин, В. Н., Коликов А. П. Уругопластическое изменение металла на кромкогибочном прессе при формовке труб большого диаметра // Сталь. 2011. № 6. с. 53–56.
15. Shinkin, V. N., Kolikov A. P. Elastoplastic shaping of metal in an edge-ending press in the manufacture of large-diameter pipe // Steel in Translation. 2011. Vol. 41. No. 6. P. 528–531.
16. Шинкин, В. Н., Коликов А. П. Модель пластического формоизменения кромок листовой заготовки при производстве труб большого диаметра для магистральных трубопроводов // Известия вузов. Черная металлургия. 2011. № 9. с. 45–49.
17. Шинкин, В. Н. Математическое моделирование процессов производства труб большого диаметра для магистральных трубопроводов // Вестник Саратовского государственного технического университета. 2011. № 4 (62). Вып. 4. с. 69–74.
18. Шинкин, В. Н., Коликов А. П., Барыков А. М. Технологические расчеты процессов производства труб большого диаметра по технологии SMS Meer // Металлург. 2011. № 11. с. 77–81.
19. Shinkin, V. N., Kolikov A. P. Engineering calculations for processes involved in the production of large-diameter pipes by the SMS Meer technology // Metallurgist. 2012. Vol. 55. Nos. 11–12. P. 833–840.
20. Шинкин, В. Н., Коликов А. П. Моделирование процесса формовки заготовки для труб большого диаметра // Сталь. 2011. № 1. с. 54–58.
21. Shinkin, V. N., Kolikov A. P. Simulation of the shaping of blanks for large-diameter pipe // Steel in Translation. 2011. Vol. 41. No. 1. P. 61–66.
22. Шинкин, В. Н., Барыков А. М. Расчет формы трубной заготовки при гибке на кромкогибочном и трубоформовочном прессах фирмы SMS Meer при производстве труб большого диаметра по схеме JCOE // Производство проката. 2014. № 12. с. 13–20.
23. Шинкин, В. Н., Коликов А. П., Мокроусов В. И. Расчет максимальных напряжений в стенке трубы при экспандировании с учетом остаточных напряжений заготовки после трубоформовочного пресса SMS Meer // Производство проката. 2012. № 7. с. 25–29.
24. Шинкин, В. Н., Коликов А. П. Моделирование процессов экспандирования и гидротестирования труб большого диаметра для магистральных трубопроводов // Производство проката. 2011. № 10. с. 12–19.
25. Шинкин, В. Н. Критерий перегиба в обратную сторону свободной части листовой заготовки на трубоформовочном прессе SMS Meer при производстве труб большого диаметра // Производство проката. 2012. № 9. с. 21–26.

26. Шинкин, В. Н. Гибка стального листа на трубоформовочном прессе при производстве труб большого диаметра // *Сталь*. 2015. № 4. с. 38–42.
27. Шинкин, В. Н. Производство труб большого диаметра по схеме JCOE фирмы SMS Meer для магистральных трубопроводов // *Актуальные проблемы гуманитарных и естественных наук*. 2015. № 3 (74). Часть 1. с. 64–67.
28. Шинкин, В. Н. Расчет технологических параметров кромкогибочного пресса фирмы SMS Meer // *Актуальные проблемы гуманитарных и естественных наук*. 2015. № 4 (75). Часть 1. с. 114–119.
29. Шинкин, В. Н. Математический критерий возникновения гофра при формовке стальной листовой заготовки на кромкогибочном прессе SMS Meer // *Актуальные проблемы гуманитарных и естественных наук*. 2015. № 5 (76).
30. Шинкин, В. Н. Расчет усилий трубоформовочного пресса SMS Meer при изгибе плоской толстой стальной заготовки при производстве труб большого диаметра // *Актуальные проблемы гуманитарных и естественных наук*. 2015. № 6 (77).
31. Шинкин, В. Н., Барыков А. М., Коликов А. П., Мокроусов В. И. Критерий разрушения труб большого диаметра при несплавлении сварного соединения и внутреннем давлении // *Производство проката*. 2012. № 2. с. 14–16.
32. Шинкин, В. Н., Мокроусов В. И. Критерий разрыва труб газонефтепроводов при дефекте «раскатной пригар с риской» // *Производство проката*. 2012. № 12. с. 19–24.
33. Шинкин, В. Н., Федотов О. В. Расчет технологических параметров правки горячекатаной рулонной полосы на пятироlikовой машине линии Fagor Arrasate // *Производство проката*. 2013. № 9. с. 43–48.
34. Шинкин, В. Н., Барыков А. М. Расчет технологических параметров холодной правки стального листа на девятироlikовой машине SMS Siemag металлургического комплекса стан 5000 // *Производство проката*. 2014. № 5. с. 7–15.
35. Шинкин, В. Н. Расчет технологических параметров правки стального листа на одиннадцатироlikовой листопривильной машине линии поперечной резки фирмы Fagor Arrasate // *Производство проката*. 2014. № 8. с. 26–34.
36. Шинкин, В. Н. Математическая модель правки тонкого стального листа на пятнадцатироlikовой листопривильной машине линии поперечной резки фирмы Fagor Arrasate // *Производство проката*. 2015. № 1. с. 42–48.
37. Пермичев, Н. Ф., Барыков А. М., Палева О. А. Управление инновационным потенциалом предприятия. — Нижний Новгород: Изд. ВВАГС, 2008. — 83 с.
38. Скороходов, В. Н., Чернов П. П., Мухин Ю. А., Бельский С. М. Математическая модель процесса свободного уширения при прокатке полос // *Сталь*. 2001. № 3. с. 38–40.
39. Скороходов, В. Н., Мухин Ю. А., Бельский С. М. Нейтральные углы при прокатке в валках неравных диаметров, вращающихся с одинаковой угловой скоростью // *Производство проката*. 2006. № 5. с. 2–6.
40. Скороходов, В. Н., Мухин Ю. А., Бельский С. М. Контактное давление при тонколистовой прокатке в валках неравных диаметров, вращающихся с одинаковой угловой скоростью // *Производство проката*. 2007. № 2. с. 15–20.
41. Мухин, Ю. А., Бельский С. М. О допустимости одного упрощения при анализе процесса несимметричной тонколистовой прокатки // *Производство проката*. 2007. № 7. с. 11–13.
42. Скороходов, В. Н., Мухин Ю. А., Бельский С. М. Энергетический баланс и величина нейтральных углов при прокатке в валках неравных диаметров // *Производство проката*. 2007. № 9. с. 15–18.
43. Бельский, С. М., Мухин Ю. А., Нейтральные углы и контактное давление при тонколистовой прокатке со скоростной асимметрией // *Производство проката*. 2007. № 11. с. 13–17.
44. Скороходов, В. Н., Мухин Ю. А., Бельский С. М., Мазур С. И. Особенности профилировок рабочих валков для клетей с осевой сдвижкой. Сообщение 1 // *Производство проката*. 2007. № 12. с. 17–19.
45. Бельский, С. М. Влияние формы эпюры переднего удельного натяжения на распределение давления прокатки и выходных напряжений по ширине полосы // *Известия высших учебных заведений. Черная металлургия*. 2008. № 1. с. 43–46.
46. Скороходов, В. Н., Мухин Ю. А., Бельский С. М., Мазур С. И. Особенности профилировок рабочих валков для клетей с осевой сдвижкой. Сообщение 2 // *Производство проката*. 2008. № 1. с. 21–24.
47. Бельский, С. М. О некоторых эффектах применения осевой сдвижки рабочих валков // *Производство проката*. 2008. № 7. с. 21–24.

Робастное управление нелинейными нестационарными динамическими объектами

Шомирзаев Бобир Уринович, старший преподаватель
Андижанский машиностроительный институт (Узбекистан)

Юнусова Сайёра Ташкенбаевна, старший преподаватель;
Мамиров Уктам Фарходович, ассистент
Ташкентский государственный технический университет (Узбекистан)

Приведен алгоритм синтеза робастного закона управления нестационарными динамическими объектами, функционирующими в условиях априорной неопределенности информации. Для синтеза нелинейных робастных алгоритмов управления предложен метод интегрального неравенства, позволяющий получить новый класс робастных законов управления. Полученный нелинейный робастный закон управления не содержит сигнальной составляющей, что значительно упрощает его реализации и обеспечивает высокие показатели качества функционирования системы управления.

Ключевые слова: робастность, нестационарность, динамический объект, неопределенность, законы управления, эталонная модель.

При разработке систем управления технологическими объектами, функционирующими в условиях априорной неопределенности, в настоящее время широко используются методы адаптивного, робастного управления, методы нечеткой логики или нейросетевых регуляторов [1]. Последнее время широкое распространения получили методы робастного управления динамическими объектами, в которых желаемая динамика выхода объекта управления задается с помощью явной или неявной эталонной моделью [2,3]. При этом целенаправленное использование нелинейностей в законе управления позволяет применить принципиально новые механизмы подавления факторов неопределенности и нестационарности объекта управления [4–6].

При создании систем управления нелинейными нестационарными динамическими объектами часто возникают трудности, связанные с априорной неопределенности информации.

Задача проектирования робастных систем управления нелинейными нестационарными объектами с различными типами запаздывающего аргумента, функционирующими в условиях априорной неопределенности, решение которой связано с разработкой сравнительно простых управляющих структур и эффективных законов управления, обеспечивающих желаемое качество процессов управления при неполном измерении элементов вектора состояний, является актуальной задачей.

Пусть объект управления задается системой дифференциальных уравнений, записанной в векторно-матричной форме:

$$\begin{aligned} \frac{dx(t)}{dt} &= \Phi_1(x(t), \frac{dx(t-p)}{dt}, \xi) + \Phi_2(x(t-\tau), u(t), \xi) + f_\xi(t). \\ x(\tau) &= \varphi(\tau), \tau \in [-\tau_{\max}, 0], \frac{dx(p)}{dt} = \frac{d\psi(p)}{dt}, p \in [-p_{\max}, 0], \\ y(t) &= L^T(\xi)x(t), \quad z(t) = g^T y(t), \quad u(t) = u(e(t), y(t), r(t)). \end{aligned} \quad (1)$$

где $x(t) \in R^n$ — вектор переменных состояния; $y(t) \in R^m$ — вектор выхода объекта, $z(t) \in R$ — обобщенный выход объекта; g — n -мерный вектор линейного компенсатора; $u(t) \in R$ — управляющее воздействие, явный вид которого подлежит определению; $\rho_{\max}, \tau_{\max} = \text{const} \geq 0$ — известные запаздывания; $\varphi(\tau) \in C_{\tau_{\max}}$, $\psi(p) \in C_{\rho_{\max}}$ — вектор функции: $C_{\tau_{\max}}, C_{\rho_{\max}}$ — пространства непрерывных ограниченных функций; $\Phi_1(x(t), \frac{dx(t-p)}{dt}, \xi)$, $\Phi_2(x(t-p), u(t), \xi)$ — отображения, удовлетворяющие условиям существования и единственности решения (1) при заданных начальных вектор-функциях $\varphi(\tau), \psi(p)$; $f_\xi(t) \in R^n$ — вектор внешних возмущений или помех, который может удовлетворять неравенству вида:

$$\int_0^{\infty} \|f_{\xi}(t)\|^2 dt < \infty, \forall \xi \in Z \tag{2}$$

или быть ограниченным по норме

$$\|f_{\xi}(t)\| < f_0^2 = const;$$

$\xi \in Z$ вектор неизвестных параметров; Z известное множество возможных значений вектора ξ или множество, задающее класс априорной неопределенности параметров объекта управления; L — квазипостоянная матрица заданного размера, $e(t) \in R^n$ - ошибка рассогласования состояний объекта управления и эталонной модели, которая может присутствовать в системе как явно или неявно, так и явно-неявно; $r(t) \in R$ - задающее воздействие относительно степень объекта $(n - m) > 1$. Объект управления (1) функционирует в условиях априорной неопределенности, заданной классом Z .

Задача управления нестационарным объектом (1) заключается в следующем: требуется построить робастную систему управления с таким управляющим воздействием $u(t)$, чтобы при любом наборе $\xi \in Z$ и при любых начальных условиях $x(0)$ и возмущениях $f_{\xi}(t)$ со свойствами (2) выполнялось бы целевое условие вида:

$$\lim_{t \rightarrow 0} \|y_M(t) - y(t)\| \leq \delta, \quad \delta = const > 0.$$

В работе предлагается метод синтеза нелинейных робастных законов управления для разных типов систем управления с нелинейными нестационарными динамическими объектами. Полученный новый класс нелинейных робастных законов управления не содержит сигнальной составляющей (знаковая функция *sign*), что позволяет значительно упростить реализацию робастных алгоритмов практически с высокими показателями качества функционирования систем управления.

Рассмотрим решения задачи синтеза робастного закона управления нелинейным нестационарным объектом управления, описываемый уравнениями:

$$\frac{dx(t)}{dt} = A(t, \xi) \cdot x(t) + B(t, \xi) \cdot u(t) + f_{\xi}(t), y(t) = L^T x(t), z = g^T y_m(t), \tag{3}$$

функционирующий в условиях априорной неопределенности

$$A(t) = A(t, \xi), B(t) = B(t, \xi), f(t) = f_{\xi}(t), \xi \in Z.$$

Пусть эталонная модель в системе задана неявно

$$\frac{dx_M(t)}{dt} = A_M \cdot x_M(t) + B_M r(t) \equiv 0, y_M(t) = L^T x_M(t), z_M = g^T y_M(t) = const. \tag{4}$$

Предполагается, что выполнены следующие условия структурного согласования между объектом и эталоном:

$$A(t) = A_M + B_M \beta^T(t) L^T, \quad B(t) = B_M \cdot (1 + \alpha(t)). \tag{5}$$

Разработка нелинейного робастного закона управления объектом в системе с неявном эталонным моделям (НЭМ) осуществляется на базе типовых этапов синтеза систем управления динамическими объектами.

Эквивалентное математическое описание исследуемой системы управления находится путем совместного преобразования уравнений объекта (3), эталона (4), а также учета условий структурного согласования (5). В результате чего получаются следующие соотношения:

$$\frac{de(t)}{dt} = A_M \cdot e(t) + B_M \cdot \mu(t), \quad v(t) = g^T L^T e(t), \tag{6}$$

где $e(t)$ - сигнал рассогласования между объектом и эталонной моделью; $\mu(t)$ - видоизмененное управление или вход системы; $v(t)$ - обобщенный выход системы, формируемый за счет подбора значений вектора g в случае скалярного управления и матрицы G — в случае векторного управления.

Для обеспечения положительности линейной стационарной части системы (6) осуществляется выбор элементов вектора или матрицы g .

Для выполнения интегрального неравенства, рассматриваемого относительно нелинейной нестационарной части системы (6), используется его модификация

$$\eta(0, t) = \sum \eta_i(0, t) = - \sum \int \mu(s) \cdot v(s) \cdot Q_i(s) ds \geq -\gamma_0^2, \tag{7}$$

где $\eta_i(0, t) = 1, 2, 3$ — модифицированные интегральные слагаемые вида

$$\eta_1(0, t) = - \int_0^t (r(s) + f(s)) \cdot v(s) \cdot |v(s)| ds, \quad (8)$$

$$\eta_2(0, t) = - \int_0^t \beta^T(s) \cdot y(s) \cdot v(s) \cdot |v(s)| ds, \quad (9)$$

$$\eta_3(0, t) = \int_0^t (1 + \alpha(s)) \cdot u(s) \cdot v(s) ds. \quad (10)$$

Выполнение (7) с учетом (8) — (10), имеет место тогда, когда нелинейный робастный закон управления синтезирован в следующем явном виде:

$$u(t) = (\gamma_1 \cdot |r(t)| + \gamma_2 \cdot f_0^2 + \gamma_3 \cdot y^T(t) \cdot y(t)) \cdot v(t),$$

где $\gamma_i = \text{const} > 0$, $i = \overline{1, k}$, $k = \text{const}$.

Построение нелинейных робастных законов управления для систем с явной эталонной моделью осуществляется аналогичным образом, но с учетом того, что эталонная модель входит в систему явным образом и описывается уравнениями

$$\frac{dx_M(t)}{dt} = A_M x_M(t) + B_M r(t);$$

$$y_M(t) = L^T x_M(t), \quad z_M = g^T y_M.$$

Явная эталонная модель позволяет задать желаемым образом динамику объекта управления, при этом в системе управления может использоваться эталон минимальной структурной сложности. Понижение порядка эталонной модели достигается за счет соответствующего выбора компонент вектора g и задания собственных значений матрицы A_M для линейной стационарной части системы с относительным порядком ее передаточной функции $(n - m) = 1$. Это позволяет сформировать явную эталонную модель в виде апериодического звена 1-го порядка, описываемого уравнением

$$\frac{dz_M(t)}{dt} = a_0 z_M(t) + b \cdot r(t)$$

Предложенный подход реализован для синтеза нелинейного робастного алгоритма управления многодвигательным электроприводом. Результаты имитационного моделирования системы управления многодвигательным электроприводом показали, что полученный новый класс робастных законов управления позволяет обеспечить более высокое качество функционирования созданной системы.

Литература:

1. Семичевская, Н. П. Нелинейное робастное управление нестационарными объектами со стационарным наблюдателем/Информатики системы управления. 2006. № 1 (11) — с. 202–211.
2. Гостев, В. И. Нечеткие регуляторы в системах автоматического управления. — Киев.: «Радиомотор», 2008. — 972 с.
3. Баландин, Д. В., Коган М. М. Алгоритмы синтеза робастного управления динамическими системами. — Нижний Новгород.: НГГУ, 2007. — 88 с.
4. Поляк, Б. Т., Щербаков П. С. Робастная устойчивость и управление. М.: Наука, 2002. — 239 с.
5. Siddikov, I. X. Synthesis of Neuro-Fuzzy controller for dynamic objects under conditions of uncertainty // The Advanced Science Journal. Volume 2014 Issue 2. pp. 33–37.2014.
6. Сиддиков, И. Х., Измайлова Р. Н., Юнусова С. Т. Алгоритм робастного управления техническим объектом, функционирующим в расплывчатых условиях // «Вестник ТГТУ» № 3–4. 2012 г. — с. 47–51.

Облачный способ организации защищенных каналов связи для объединения сетей

Юдин Виктор Александрович, студент

Национальный исследовательский университет «Московский институт электронной техники»

В современных условиях, когда крупные компании имеют множество различных филиалов и пользователей, не имеющих возможности прямого подключения к локальной сети предприятия, возникает проблема объединения филиалов в единую защищенную сеть.

Существует несколько способов решения этой проблемы: построение отдельного канала, аренда существующего канала у провайдера, установка специализированного оборудования и организация защищенного канала посредством Internet.

Построение отдельного канала применяется в тех случаях, когда возникает необходимость проложить канал между зданиями на предприятии с большой территорией. Также собственный канал используют провайдеры, у которых нет возможности арендовать канал у более крупных провайдеров. Шифрование в таком случае не нужно, так как канал не выходит за пределы территории одного предприятия. Этот способ организации подключения филиалов не всегда реализуем на практике из-за сложности монтажа кабельных систем и часто заменяется на другой: аренду канала у провайдера.

Аренда канала у провайдера является одним из самых оптимальных вариантов для объединения филиалов в разных городах. Провайдер гарантирует характеристики канала в некоторых пределах: пропускную способность, время отклика, доступность, джиттер (нежелательные фазовые и частотные случайные отклонения передаваемого

сигнала). Однако данный способ может быть недоступен для небольших компаний из-за своей дороговизны.

При установке специализированного оборудования и организации VPN через Internet появляется несколько преимуществ: гибкая настройка сетевых устройств и более низкая цена по сравнению с арендой канала у провайдера. К тому же, может быть включено шифрование. С другой стороны имеется ряд недостатков: ручная настройка устройств в большинстве решений, постоянная поддержка и обновление программного обеспечения на всех устройствах, смена сертификатов. Для этого требуются квалифицированные сотрудники. Из-за совмещения функций приходится закупать более мощные устройства в филиалы, что сильно снижает общую производительность. Помимо этого, при организации VPN через Интернет не обеспечиваются постоянные характеристики канала, такие как: пропускная способность, время отклика, доступность.

Ввиду выявленных выше недостатков предлагается оптимальный способ защищенного соединения — подключение всех рабочих мест в филиалах к удаленному серверу, называемому «облаком». [1]

Хранение и обработка данных в сети Интернет за счет ресурсов удаленных серверов, получивших название «облачных» сервисов, приобретают все большую популярность в отрасли безопасности. С одной стороны, вынос устройств записи/обработки данных, а также функций управления системами за пределы определенной терри-

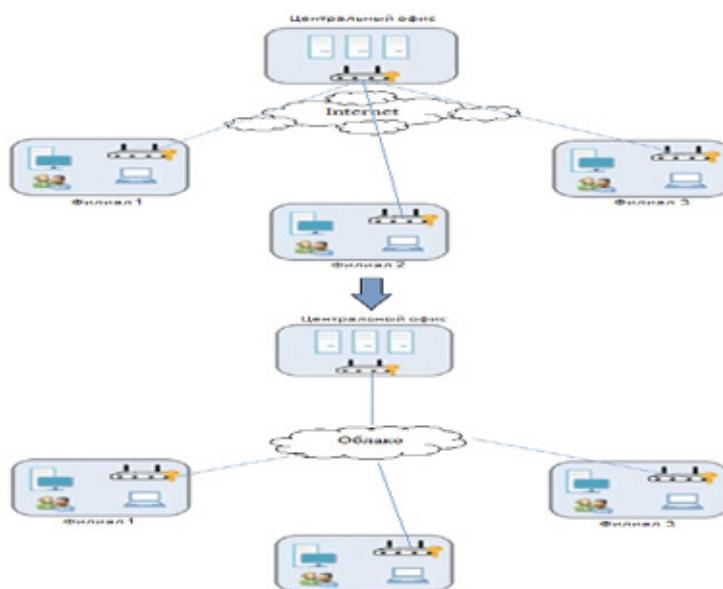


Рис. 1. Объединение нескольких подсетей с помощью Internet

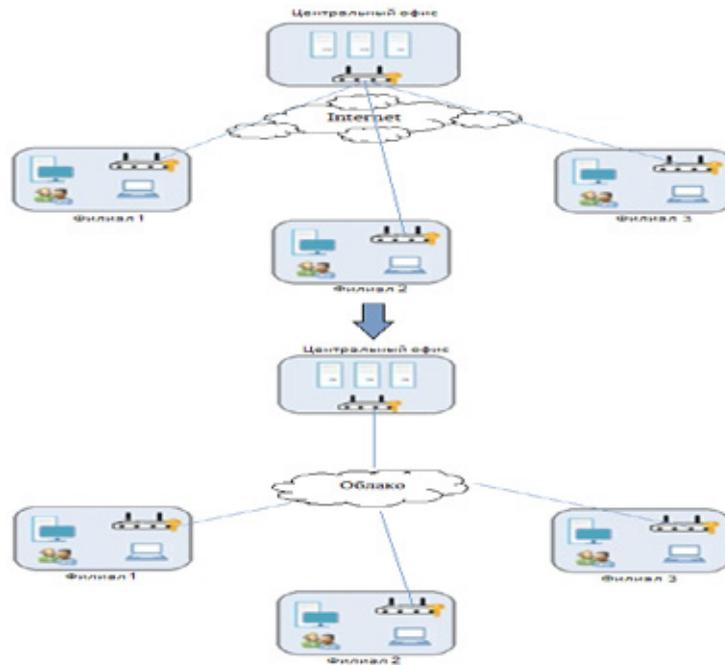


Рис. 2. Объединение нескольких подсетей с использованием облачных технологий

тории позволяет клиенту сэкономить на приобретении аппаратных и программных средств, образующих систему безопасности, а также избежать лишних расходов на содержание персонала. С другой — острая конкуренция среди поставщиков облачных сервисов приводит к достаточно выгодным ценам на услуги. [2]

На рисунке 1 показан один из способов объединения нескольких подсетей филиалов в одну большую сеть с помощью Internet. Суть его такова: существует центральный офис, в котором находится центр обработки и хранения данных. К нему, при помощи маршрутизаторов, поддерживающих соединение через VPN, подключаются все отдельные подсети филиалов. Филиалы представляют собой офисы компании в разных городах. Они включают в себя также и отдельных пользователей — сотрудников компании, которые работают удаленно.

На рисунке 2 представлен способ объединения сетей с использованием облачных технологий. В этом случае компьютерные сети филиалов подключаются не к центральному офису, а к «облаку» с помощью маршрутизаторов, поддерживающих соединение VPN. Такой способ объединения сетей является простым и надежным. Простота заключается в выносе сетевых устройств и настроек их взаимодействия с устройствами из других филиалов за пределы определенной территории. Вся настройка защищенного канала и его мониторинг осуществляется из «облака». Все обновления, параметры самих туннелей, распространение сертификатов осуществляются автоматически облаком без участия пользователя. Появляется возможность экономить на найме квалифицированных сотрудников и на приобретении аппаратных и программных средств. Надежность заключается в обеспечении безопасного соединения с предоставлением таких дополнительных функций, как: Firewall,

Intrusion Prevention System, Antivirus. В указанном случае не происходит перегрузка процессоров устройств в филиалах, что тоже является немаловажным преимуществом. Вместе с тем, удаленный сервер может гарантировать отдельным пользователям безопасное посещение различных веб-ресурсов в сети, а также служить WAN-акселератором за счет сжатия любого трафика.

В США такие услуги уже существуют: решение для серьезного среднего бизнеса — Meraki от Cisco, решение для мелкого бизнеса — ElephantVPN, а также MyVPNCloud.

Достоинствами облачного способа организации VPN для объединения сетей являются простота эксплуатации, низкая стоимость, отсутствие крупных вложений на первоначальном этапе, дополнительные услуги защиты по требованию без необходимости замены оборудования в филиалах, увеличение пропускной способности за счет сжатия.

Также существуют недостатки такого способа организации: нет гарантий характеристик канала, так как существует зависимость от Интернет-провайдера, а также данные услуги пока не предоставляются в России.

Компанией, предоставляющей данные услуги, также производится подбор оборудования для организации виртуальной частной сети, которое удовлетворяло бы следующим требованиям: возможность фильтрации сетевого трафика внутри vpn-туннеля (эта функция реализована далеко не во всех шлюзах), поддержка управления качеством Quality of Service (очень полезна при передаче голосового трафика между сетями), а также простота эксплуатации, низкая стоимость и высокая надежность.

Существует два варианта подбора устройств. Первый — это закупка универсального сетевого оборудования

со стандартным набором функций. Вторым вариантом — это закупка оборудования с минимальными необходимыми системными требованиями и переустановка на них встроенного программного обеспечения таким образом, чтобы можно было выбрать нужные функции для оптимального решения поставленной задачи — объединения сетей филиалов между собой через защищенный канал.

Покупка оборудования со стандартным набором функций имеет следующее преимущество: имеется возможность использовать оборудование для многих целей, касающихся не только соединения нескольких сетей через защищенный канал. Например, такие устройства могут выступать в роли беспроводной точки доступа. Однако данный способ не всегда оправдан для организации связи между филиалами, так как для этого используются далеко не все реализованные в оборудовании функции, но часто за них приходится переплачивать.

Достоинством второго способа является возможность выбора только тех функций, которые необходимы для решения конкретно поставленной задачи — объединения сетей филиалов через защищенный канал, и отключения лишних функций в устройствах. Это существенно повышает производительность маршрутизаторов. К недостаткам можно отнести невозможность дальнейшего использования оборудования для других целей.

Литература:

1. Облачный способ организации VPN для объединения сетей: Статья. — [Электронный ресурс]. — Режим доступа: <http://habrahabr.ru/post/182700/>.
2. Облака, белокрылые лошади. Интернет-сервисы завоёвывают мир: Статья «Security Focus». — [Электронный ресурс]. — Режим доступа: <http://www.secnews.ru/articles/#axzz3eMv5QocM>.

В дальнейшем будет разработан подход по организации защищенного канала между офисами предприятия и «облаком» на основе VPN. Для этого будет рассмотрен перечень устройств с минимальными системными требованиями для организации виртуальной частной сети и встроенное программное обеспечение, которое эти устройства поддерживают, а также будет показана реализация данного подхода.

Актуальность данной работы заключается в том, что в современных условиях большинство решений в сфере информационных технологий и телекоммуникаций переносятся в «облачные» сервисы. Внутри организации требуется настроить только сетевое оборудование для доступа к «облаку». Тем самым существенно упрощается администрирование сети компании, сокращаются расходы на привлечение высококвалифицированных специалистов для организации сети и поддержания ее работоспособности в дальнейшем, а также на покупку дорогостоящего специализированного сетевого оборудования. Все настройки и управление защищенным каналом происходят на удаленном сервере, называемом «облаком».

Данный подход по организации и настройке защищенного канала можно будет применять в филиалах предприятий для создания защищенного канала между ними.

Молодой ученый

Научный журнал
Выходит два раза в месяц

№ 13 (93) / 2015

РЕДАКЦИОННАЯ КОЛЛЕГИЯ:

Главный редактор:

Ахметова Г. Д.

Члены редакционной коллегии:

Ахметова М. Н.
Иванова Ю. В.
Каленский А. В.
Куташов В. А.
Лактионов К. С.
Сараева Н. М.
Авдеюк О. А.
Айдаров О. Т.
Алиева Т. И.
Ахметова В. В.
Брезгин В. С.
Данилов О. Е.
Дёмин А. В.
Дядюн К. В.
Желнова К. В.
Жуйкова Т. П.
Жураев Х. О.
Игнатова М. А.
Коварда В. В.
Комогорцев М. Г.
Котляров А. В.
Кузьмина В. М.
Кучерявенко С. А.
Лескова Е. В.
Макеева И. А.
Матроскина Т. В.
Матусевич М. С.
Мусаева У. А.
Насимов М. О.
Прончев Г. Б.
Семахин А. М.
Сенцов А. Э.
Сенюшкин Н. С.
Титова Е. И.
Ткаченко И. Г.
Фозилов С. Ф.
Яхина А. С.
Ячинова С. Н.

Ответственные редакторы:

Кайнова Г. А., Осянина Е. И.

Международный редакционный совет:

Айрян З. Г. (Армения)
Арошидзе П. Л. (Грузия)
Агаев З. В. (Россия)
Бидова Б. Б. (Россия)
Борисов В. В. (Украина)
Велковска Г. Ц. (Болгария)
Гайич Т. (Сербия)
Данатаров А. (Туркменистан)
Данилов А. М. (Россия)
Демидов А. А. (Россия)
Досманбетова З. Р. (Казахстан)
Ешиев А. М. (Кыргызстан)
Жолдошев С. Т. (Кыргызстан)
Игиснинов Н. С. (Казахстан)
Кадыров К. Б. (Узбекистан)
Кайгородов И. Б. (Бразилия)
Каленский А. В. (Россия)
Козырева О. А. (Россия)
Колпак Е. П. (Россия)
Куташов В. А. (Россия)
Лю Цзюань (Китай)
Малес Л. В. (Украина)
Нагервадзе М. А. (Грузия)
Прокопьев Н. Я. (Россия)
Прокофьева М. А. (Казахстан)
Рахматуллин Р. Ю. (Россия)
Ребезов М. Б. (Россия)
Сорока Ю. Г. (Украина)
Узаков Г. Н. (Узбекистан)
Хоналиев Н. Х. (Таджикистан)
Хоссейни А. (Иран)
Шарипов А. К. (Казахстан)

Художник: Шишков Е. А.

Верстка: Бурьянов П. Я.

Статьи, поступающие в редакцию, рецензируются.
За достоверность сведений, изложенных в статьях, ответственность несут авторы.

Мнение редакции может не совпадать с мнением авторов материалов.

При перепечатке ссылка на журнал обязательна.

Материалы публикуются в авторской редакции.

АДРЕС РЕДАКЦИИ:

420126, г. Казань, ул. Амирхана, 10а, а/я 231.

E-mail: info@moluch.ru

http://www.moluch.ru/

Учредитель и издатель:

ООО «Издательство Молодой ученый»

ISSN 2072-0297

Тираж 1000 экз.

Отпечатано в типографии издательства «Молодой ученый», 420029, г. Казань, ул. Академика Кирпичникова, 26