



**МАТЕРИАЛЫ МЕЖДУНАРОДНОЙ ЗАОЧНОЙ
НАУЧНО-ПРАКТИЧЕСКОЙ КОНФЕРЕНЦИИ**

**НАУКА И ТЕХНИКА
В СОВРЕМЕННОМ МИРЕ**

Часть I

Новосибирск, 2012 г.

УДК 62
ББК 30
Н 34

Н 34 «Наука и техника в современном мире»: материалы международной заочной научно-практической конференции. Часть I. (21 февраля 2012 г.); [под ред. Я.А. Полонского]. Новосибирск: Изд. «Сибирская ассоциация консультантов», 2012. — 136 с.

ISBN 978-5-4379-0047-5

Сборник трудов международной заочной научно-практической конференции «Наука и техника в современном мире» отражает результаты научных исследований, проведенных представителями различных школ и направлений современных технических наук.

Данное издание будет полезно аспирантам, студентам, исследователям в области прикладной науки и всем интересующимся актуальным состоянием и тенденциями развития технических наук.

ISBN 978-5-4379-0047-5

ББК 30

Рецензенты:

- кандидат физико-математических наук, Зеленская Татьяна Евгеньевна, Югорский государственный университет (г. Ханты-Мансийск)
- кандидат технических наук, Полонский Яков Аркадьевич, эксперт высшей квалификации Единой Системы Оценки Соответствия (г. Волгоград)

Оглавление

Секция 1. Машиностроение и машиноведение	6
ВЛИЯНИЕ ПРОФИЛЯ ЗУБЬЕВ ЧЕРВЯЧНО МОДУЛЬНЫХ ФРЕЗ НА ТОЧНОСТЬ ЗУБЬЕВ ПРЯМОЗУБЫХ КОЛЕС Гуськова Елена Валерьевна Демидов Валерий Васильевич	6
ТЕХНОЛОГИЧЕСКОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ КАЧЕСТВА ПОВЕРХНОСТИ ПРИ МЕХАНООБРАБОТКЕ ОХЛАЖДЕНИЕМ ИОНИЗИРОВАННЫМ ВОЗДУХОМ Курносов Николай Ефимович Николотов Андрей Александрович Асосков Александр Сергеевич	11
ИННОВАЦИОННЫЙ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИЙ ПРОЦЕСС ОБРАБОТКИ ШИРОКИМ ВЫГЛАЖИВАНИЕМ Лукьянов Алексей Александрович Бобровский Игорь Николаевич Ежелев Андрей Викторович	19
РАЗРАБОТКА МАГНИТОЖИДКОСТНЫХ ГЕРМЕТИЗАТОРОВ ВРАЩАЮЩИХСЯ ВАЛОВ Сайкин Михаил Сергеевич	23
ИСПОЛЬЗОВАНИЕ НАТИРАНИЯ, КАК ОСНОВНОГО ФАКТОРА АКТИВАЦИИ ПОВЕРХНОСТИ ПРИ ХРОМИРОВАНИИ ДЕТАЛЕЙ ИЗ ТИТАНОВЫХ СПЛАВОВ Секретарева Светлана Александровна	32
Секция 2. Приборостроение, метрология	35
АНАЛИТИЧЕСКИЙ ОБЗОР МЕТОДОВ ОПРЕДЕЛЕНИЯ ПЛОТНОСТИ БУРОВЫХ РАСТВОРОВ Калёнов Сергей Андреевич	35

Секция 3. Радиотехника и связь	46
ИССЛЕДОВАНИЕ КАРТИН РАССЕЯНИЯ В ЗАДНЕЙ ПОЛУСФЕРЕ ПРИ ИЗМЕРЕНИИ ПАРАМЕТРОВ СВЕТОВОДОВ Андросик Андрей Борисович Мировицкая Светлана Дмитриевна	46
СПОСОБ ОБНАРУЖЕНИЯ И АНАЛИЗА СИГНАЛОВ СО СКАЧКООБРАЗНЫМ ИЗМЕНЕНИЕМ ЧАСТОТЫ Берлёв Сергей Викторович Шерстюков Сергей Анатольевич	60
ОЦЕНКА ЭФФЕКТИВНОСТИ РАЗЛИЧНЫХ МЕТОДОВ ПОВТОРНОГО ИСПОЛЬЗОВАНИЯ ЧАСТОТ В СЕТЯХ LTE Божко Алексей Александрович	65
КВАДРАТИЧНЫЕ ПОЛЯ ГАЛУА И ИХ ПРИМЕНЕНИЕ В СХЕМАХ ЦИФРОВОЙ ПОДПИСИ НА ОСНОВЕ КОНЦЕПЦИИ ПРОЛОНГИРОВАННОЙ БЕЗОПАСНОСТИ Бондарь Виктория Витальевна	70
ОПТИМИЗАЦИЯ РАССТАНОВКИ КАНАЛОВ УСКОРЕНИЯ ПРИ ОБНАРУЖЕНИИ ВЫСОКОМАНЕВРЕННЫХ ЦЕЛЕЙ Козлов Дмитрий Николаевич	75
ПОВЫШЕНИЕ БЕЗОПАСНОСТИ ИЗДЕЛИЙ РАДИОСВЯЗИ С УЧЕТОМ ОСНОВНЫХ ВЛИЯЮЩИХ ФАКТОРОВ Копытов Евгений Юрьевич	81
МАСШТАБНОЕ ФИЗИЧЕСКОЕ УЛЬТРАЗВУКОВОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ, ЕГО ПРОГРАММНАЯ И АППАРАТНАЯ СТОРОНА Шкапский Глеб Игоревич Курнина Дарья Валерьевна Смолин Виктор Павлович	86

Секция 4. Информатика, вычислительная техника и управление	99
ПОДГОТОВКА МАССИВА ДАННЫХ СЛУЧАЙНЫХ ПЕРЕМЕННЫХ СЛОЖНОГО ОБЪЕКТА УПРАВЛЕНИЯ Адамбаев Мурат Джамантаевич Магденова Индира Жакашовна	99
МОДЕЛИРОВАНИЕ ПРОЦЕССА ИСПАРЕНИЯ УГЛЕВОДОРОДОВ НЕФТИ ПРИ НАПОЛНЕНИИ РЕЗЕРВУАРА Базил Гульмира Дуйсенбеккызы	106
ОЦЕНКА ЭФФЕКТИВНОСТИ БИЗНЕС-ПРОЦЕССОВ В ИНФОРМАЦИОННО-СОВЕТУЮЩИХ СИСТЕМАХ АГРОПРОМЫШЛЕННОГО КОМПЛЕКСА Гайрабекова Тамара Израиловна Квятковская Ирина Юрьевна	113
ТИПЫ АНОМАЛИЙ В ВИДЕОИЗОБРАЖЕНИЯХ Гриценко Артем Владимирович	118
ПОВЫШЕНИЯ КАЧЕСТВА РОБОТОТЕХНИЧЕСКИХ СИСТЕМ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ УПРАВЛЯЮЩЕГО МАГНИТОРЕОЛОГИЧЕСКОГО ЭЛЕМЕНТА Комлева Оксана Анатольевна	123
ВНЕДРЕНИЕ СРЕДСТВ АВТОМАТИЗАЦИИ В ПРОЦЕССЫ КОНТРОЛЯ И УПРАВЛЕНИЯ НА ПРОИЗВОДСТВЕ Никонов Андрей Владимирович	127
АНАЛИЗ ЗАДЕРЖКИ ПЕРЕДАЧИ РЕЧИ ПО СЕТИ ПЕРЕДАЧИ ДАННЫХ IP Саданова Бакытгуль Маратовна Лейзер Людмила Ильинична Исатаева Гайнель Сабидуллоевна	132

СЕКЦИЯ 1.

МАШИНОСТРОЕНИЕ И МАШИНОВЕДЕНИЕ

ВЛИЯНИЕ ПРОФИЛЯ ЗУБЬЕВ ЧЕРВЯЧНО-МОДУЛЬНЫХ ФРЕЗ НА ТОЧНОСТЬ ЗУБЬЕВ ПРЯМОЗУБЫХ КОЛЕС

Гуськова Елена Валерьевна
ассистент, УлГУ, г. Ульяновск

Демидов Валерий Васильевич
канд. техн. наук, доцент УлГУ, г. Ульяновск
E-mail: demidova777@rambler.ru

Одним из путей повышения эффективности операций зубофрезерования является совершенствование конструктивно-геометрических параметров червячно-модульных фрез (ЧМФ) с положительными передними углами [1, 2]. Например, в работе [2] рекомендуется принимать передние углы ЧМФ до 15° , что приводит к снижению сил резания на 30—40 % и позволяет увеличить скорость подачи на 40—50 %.

Однако ЧМФ с положительными передними углами до настоящего времени не нашли широкого применения вследствие того, что точность профиля зубьев колес, обработанных этими фрезами, оказывается ниже точности профиля зубьев колес, обработанных фрезами с передними углами равными нулю. В известных публикациях нет сведений о количественной оценке влияния положительных передних углов ЧМФ на точность профиля зубьев колес. В работе Г. Г. Иноземцева [1] оценивается влияние передних углов на отклонение профиля режущих кромок зубьев различных ЧМФ от теоретически точного (профиля винтовой поверхности соответствующего эвольвентного червяка) по углам профиля α_L и α_R и его прогибам Δ_L и Δ_R (рис. 1), но не рассматривается влияние этого отклонения и других факторов непосредственно на точность профиля зубьев колес. Между тем, как показали проведенные исследования, зависимости между углами, прогибами профиля режущих кромок зубьев ЧМФ и точностью профиля зубьев колес не прямопропорциональны.

Известно, что точность профиля зубьев колес зависит от способов профилирования и аппроксимации профиля зубьев ЧМФ [1]. Для оценки их влияния рассматривали варианты следующих сочетаний способов профилирования и аппроксимации профиля зубьев ЧМФ (см. рис. 1):

- 1) архимедов червяк, аппроксимация по хордам $A_L B_L$ и $A_R B_R$;
- 2) архимедов червяк без аппроксимации профиля;
- 3) архимедов или эвольвентный червяк, аппроксимация по касательным 12 и 34 , проведенным в точках C_L и C_R пересечения делительного цилиндра диаметром d_{d0} в расчетном сечении фрезы с производящим профилем зубьев (касательные к профилям зубьев фрез, спрофилированных на основе архимедова и эвольвентного червяков, совпадают);
- 4) эвольвентный червяк без аппроксимации профиля;
- 5) эвольвентный червяк, аппроксимация по дугам $A_L C_L B_L$ и $A_R C_R B_R$ окружностей радиусов ρ_L и ρ_R ;
- 6) эвольвентный червяк, аппроксимация по прямым m_L и m_R , для которых среднее арифметическое расстояние от профиля эвольвентного червяка принимает минимальное значение;
- 7) эвольвентный червяк, аппроксимация по хордам $A_L B_L$ и $A_R B_R$;
- 8) конволютный червяк без аппроксимации профиля.

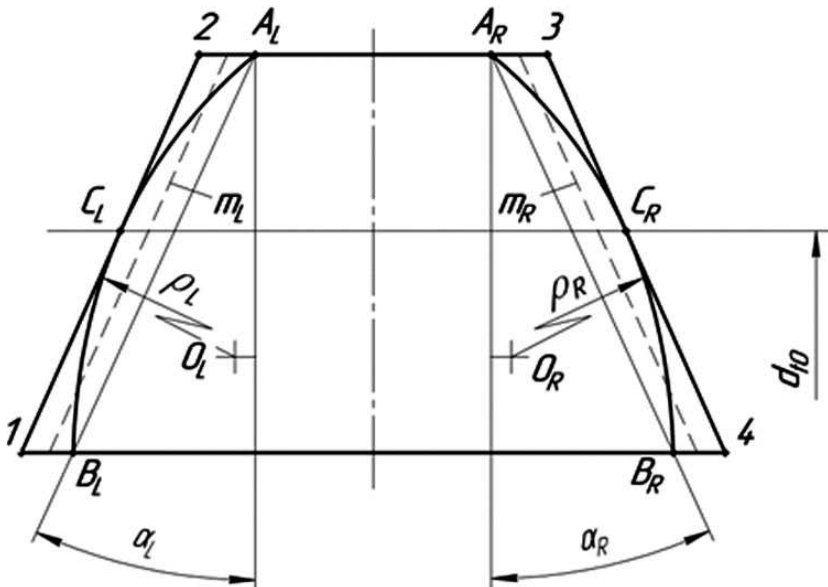


Рисунок 1. Возможные варианты профиля зубьев червячно-модульной фрезы в плоскости передней поверхности

Для проведения намеченных исследований был разработан пакет специальных верифицированных [3] программных продуктов, которые позволили реализовать метод имитационного компьютерного моделирования (ИКМ) кинематики зубофрезерования цилиндрических колес. Данный пакет программ применяли для моделирования обработки прямозубых колес со следующими параметрами: модуль $m=3$ мм, угол профиля исходного контура зубчатой рейки $\alpha_n=20^\circ$, число зубьев $z_1=45$. Эти колеса обрабатывались правыми одно-, двух- и трехзаходными ЧМФ с передними углами $\gamma_a=0, 6, 12$ и 18° , наружный диаметр фрезы 109,75 мм. Фрезы были получены переточкой новой фрезы с наружным диаметром 112 мм и падением затылка 4,5 мм до расчетного сечения для исключения влияния переточки на точность профиля зубьев. Контролируемые параметры точности профиля зубьев колес: погрешность профиля зубьев $f_{\text{гр}}$ и отклонение шага зацепления $f_{\text{пбр}}$.

На основании результатов исследований установлено, что точность профиля противоположных сторон зубьев колес, обработанных одно-, двух- и трехзаходными ЧМФ, спрофилированными по вариантам 2, 4, 5, 8, практически одинакова для фрез с одинаковым числом заходов и не зависит от величины передних углов фрез (рис. 2). С увеличением числа заходов зубьев фрез точность профиля зубьев колес понижается. Значения параметров $f_{\text{гр}}$ и $f_{\text{пбр}}$ соответственно равны: для однозаходной фрезы 0,4...0,7 мкм (рис. 2, а, б) и $-0,5...-0,1$ мкм (рис. 2, в, г); для двухзаходной фрезы 1,5...2,4 мкм и $-1,2...+0,2$ мкм; для трехзаходной фрезы 3,3...5,9 мкм и $-2,0...+0,3$ мкм.

Для вариантов профилирования 1, 3, 6 и 7 одно-, двух- и трехзаходных ЧМФ точность профиля противоположных сторон зуба колеса не одинакова. Точность профиля тех сторон зубьев колеса, которые обработаны левой стороной зубьев ЧМФ (левая или правая стороны зуба ЧМФ определяются при виде на переднюю поверхность зуба, на котором его вершинная часть расположена вверх), практически одинакова для одно-, двух- и трехзаходных фрез и не зависит от величины их передних углов (рис. 2 а, в). Точность профиля тех сторон зубьев колес, которые обработаны правой стороной зубьев ЧМФ, существенно зависит от числа заходов зубьев фрезы и с увеличением передних углов от 0 до 18° монотонно и значительно понижается. Интервалы полученных значений параметров точности $f_{\text{гр}}$ и $f_{\text{пбр}}$ этих сторон зубьев колес соответственно равны: для однозаходной фрезы 0,5...4,6 мкм и $-0,4...-3,5$ мкм (рис. 2, б и г); для двухзаходной фрезы 1,7...7,3 мкм и $-0,2...-4,4$ мкм; для трехзаходной

фрезы 4,2...11,5 мкм и $-0,6...-5,2$ мкм (первые значения указанных интервалов получены при $\gamma_a=0^\circ$, вторые — при $\gamma_a=18^\circ$).

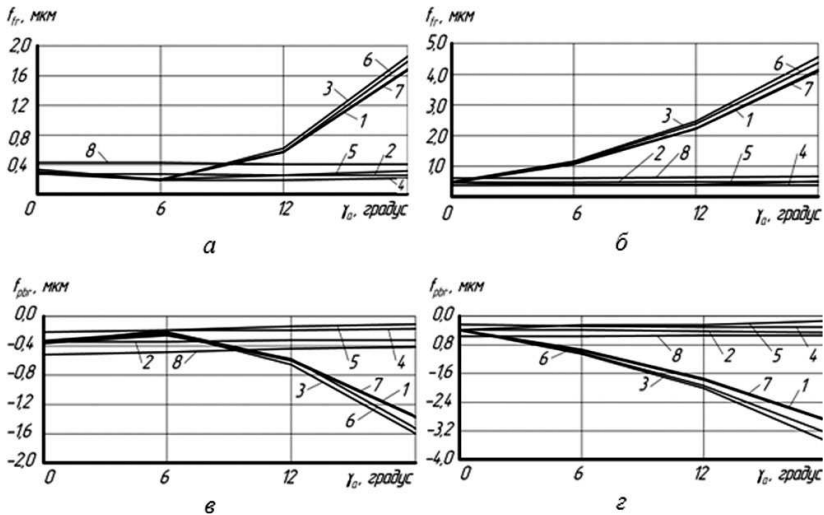


Рисунок 2. Зависимости изменения погрешности f_{fr} профиля (а, б) и отклонения f_{pbr} шага зацепления (в, г) противоположных сторон зубьев, обработанных левой (а, в) и правой (б, г) сторонами зубьев червячно-модульных фрез (1÷8 — варианты сочетаний профилирования и аппроксимации профиля зубьев фрез от передних углов γ_a червячно-модульных фрез

По результатам исследований можно сделать следующие выводы.

1. Наибольшая точность профиля зубьев колес при зубофрезеровании одно-, двух- или трехзаходными ЧМФ обеспечивается фрезами, спрофилированными на основе архимедова, эвольвентного и конволютного червяков без аппроксимации профиля зубьев прямыми линиями (варианты профилирования 2, 4 и 8), а также с профилем зубьев фрезы на основе эвольвентного червяка, аппроксимированным дугами окружностей (вариант профилирования 5), причем точность профиля противоположных сторон зубьев колес, обработанных фрезами с одинаковым числом заходов, практически одинакова и не зависит от передних углов фрез. С увеличением числа заходов зубьев фрезы точность профиля зубьев колес понижается.

2. При зубофрезеровании колес одно-, двух- и трехзаходными ЧМФ, спрофилированными с аппроксимацией профиля зубьев

прямыми линиями (варианты профилирования 1, 3, 6 и 7), точность профиля противоположных сторон зубьев колес не одинакова.

Следует обратить внимание, что значения погрешностей профиля зубьев колес $f_{\text{г}}$ и отклонений шага зацепления $f_{\text{пр}}$ получены на основе моделирования зубофрезерования колес без учета динамики процесса.

Фактическую точность (с учетом динамики) профиля зубьев колес, обработанных ЧМФ с положительными передними углами, можно получить путем алгебраического сложения значений соответствующих параметров «станочной» точности, полученной при обработке колеса на станке фрезой с передними углами, равными нулю и алгебраической разности смоделированных точностей профиля, полученных методом ИКМ, при заданных положительных передних углах фрезы и при передних углах, равных нулю.

Список литературы:

1. Иноземцев Г. Г. Червячные фрезы с рациональными геометрическими и конструктивными параметрами. — Саратов: Изд. Саратовского университета, 1961. — 224 с.
2. Полохин О. В. Нарезание зубчатых профилей инструментами червячного типа. — М.: Машиностроение, 2007. — 240 с.
3. Свидетельство № 2009612706 РФ о государственной регистрации программы на ЭВМ. Подпрограмма для моделирования процесса зубофрезерования червячной фрезой с групповой схемой резания при осевой подаче в рабочей среде пакета Unigraphics NX4.0 / В. В. Демидов, Н. В. Манежнов, Е. В. Демидова; УЛГТУ. — 2009.

ТЕХНОЛОГИЧЕСКОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ КАЧЕСТВА ПОВЕРХНОСТИ ПРИ МЕХАНООБРАБОТКЕ ОХЛАЖДЕНИЕМ ИОНИЗИРОВАННЫМ ВОЗДУХОМ

Курносов Николай Ефимович

д-р. техн. наук, профессор ПГУ, г. Пенза

E-mail: ttmo-pgu@mail.ru

Николотов Андрей Александрович

ст. преподаватель, ПГУ, г. Пенза

E-mail: ttmo-pgu@mail.ru

Асосков Александр Сергеевич

инж-констр., ОАО «Пензадизельмаш», г. Пенза

E-mail: asoskov_w@mail.ru

Введение. Одним из направлений совершенствования технологии механической обработки деталей является использование новых физических эффектов. Это ультразвуковое, лазерное и прочие воздействия, как на режущий инструмент, так и на заготовку [1, 9, 11, 14]. Другим направлением является совершенствование новых видов смазочно-охлаждающих жидкостей (СОЖ) и способов их доставки в зону резания. Несмотря на то, что идет непрерывное совершенствование СОЖ и средств их доставки в зону резания, в то же время проявляются недостатки их применения: значительное удорожание обработки, ухудшение экологической обстановки в цехах и др. [10].

Метод сухого электростатического охлаждения (СЭО) позволяет свести к минимальному использованию или отказу от СОЖ. К настоящему времени создано большое разнообразие технических средств для подготовки ионизированных газов. В ряде работ отмечается положительный эффект при использовании устройства для вихревого энергетического разделения на входе в коронный ионизатор. Недостатками таких технических решений являются: громоздкость конструкции и необходимость отдельного подвода электрической энергии для питания коронного ионизатора [2, с. 134; 6, 8 с. 27].

Устранить указанные недостатки можно исключением из конструкции коронного ионизатора и модернизацией устройства, работающего на принципе вихревого энергетического разделения воздуха — вихревого ионизатора (ВИ). ВИ конструктивно выполнен

на основе вихревой трубы [7], отличается от последней конструктивным и технологическим исполнением.

В ВИ происходят сложные газодинамические процессы, которые приводят к ионизации воздуха. Конструктивные и режимные параметры ВИ определяют характеристики газодинамических процессов, как следствие, эффективность генерации ионизированного воздуха. Для использования предложенного решения с целью совершенствования технологии механической обработки необходимо провести исследования концентрации заряженных частиц (КЗЧ) в зависимости от конструктивных и режимных параметров ВИ.

1. Исследование ВИ. Для определения оптимальных конструктивных параметров ВИ и возможности управления эффективностью работы устройства был разработан и изготовлен стенд, включающий: ВИ со внутренним диаметром трубы 10 мм и его комплектующие (три диафрагмы с разными осевыми отверстиями и три сменных сопла из разных материалов); компрессор поршневого типа с максимальным давлением до 1,1 МПа и возможностью регулирования давления; счетчик аэроионов «Сапфир — 3М» с возможностью передачи данных в режиме реального времени на персональный компьютер (ПК) для подсчета КЗЧ; компактный сенсор влажности calHT01.S—2080—ZE05—M08 с рабочим диапазоном измерения 0...100 % и погрешностью ± 2 %; персональный компьютер со специальным программным обеспечением; мультиметр цифровой марки AM—1118 со встроенной термопарой типа «К». Мультиметр подключался к ПК. Схема стенда приведена на рис. 1.

Целью исследования было: определение влияния конструктивных и режимных параметров ВИ на КЗЧ, генерируемых устройством.

Конструктивными параметрами были: степень перекрытия дросселя, материал сопла, диаметр осевого отверстия диафрагмы. Все перечисленные детали встречаются в конструкции вихревой трубы А. П. Меркулова. На КЗЧ, теоретически, влияет материальное исполнение ВИ, поэтому исследовалась КЗЧ при различных материалах сопла. Диаметр отверстия диафрагмы и степень перекрытия дросселя влияют на массовую долю холодного потока вихревых труб [5, с. 75], а, значит, и на количество воздуха, подвергаемого ионизации. Режимными параметрами работы ВИ являются: давление и влажность воздуха, подаваемого компрессором. Исследование влияния конструктивных параметров проводилось при установленном давлении воздуха 0,45 МПа и расходе $1 \text{ м}^3/\text{мин}$.

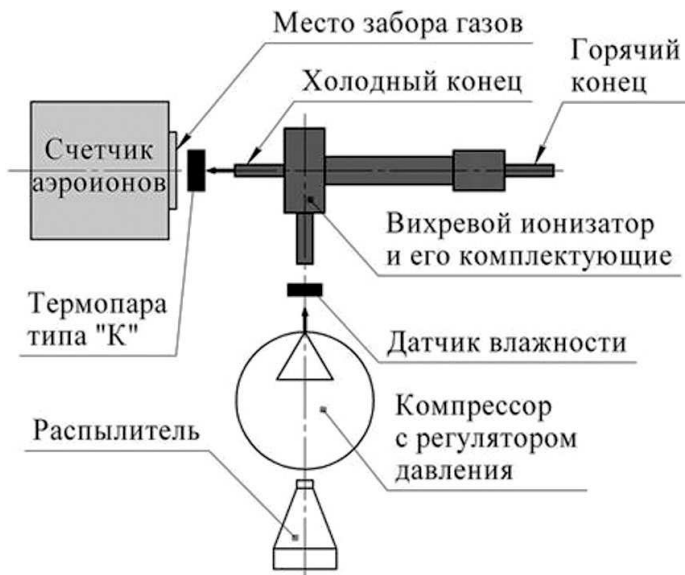


Рисунок 1. Схема экспериментального стенда для исследования КЗЧ при работе ВИ

Ниже описаны конструктивные и режимные параметры ВИ и измеряемые величины.

Степень перекрытия дросселя характеризует зазор для выхода воздуха на горячем конце. Измерялись: температура газов – термопарой и КЗЧ — счетчиком аэроионов на холодном конце ВИ при различной степени перекрытия дросселя. Практический смысл исследования температуры и КЗЧ в холодном потоке заключается в возможности настройки ВИ без использования счетчика аэроионов.

Материал сопла. Монтировалась диафрагма $d/D=1/10$, где d — диаметр осевого отверстия в диафрагме, D — диаметр трубы ВИ; положение дросселя настраивалось на наименьшую температуру холодного потока, для чего использовалась термопара. В конструкции ВИ менялись сопла, изготовленные из материалов: 12Х18Н10Т, Д16, фторопласт — 4. Подача воздуха от компрессора начиналась и прекращалась одновременно с включением счетчика аэроионов, подключенного к ПК. Измерение КЗЧ выполнялось для каждого сопла, в течение 300 с.

Диаметр осевого отверстия диафрагмы. Устанавливалось сопло из фторопласта, положение дросселя и режим работы компрессора не менялись. Порядок проведения исследования аналогичен описанному выше с той разницей, что менялись диафрагмы d/D : 0,1; 0,2; 0,3.

Давление нагнетаемого воздуха. Использовался состав станда для исследования влияния материала сопла, применялось сопло из фторопласта. Измерялась КЗЧ при различных значениях давления, которое менялось с шагом 0,05 МПа через равные промежутки времени, равные 60 с.

Относительное влияние конструктивных и режимных параметров на концентрацию заряженных частиц

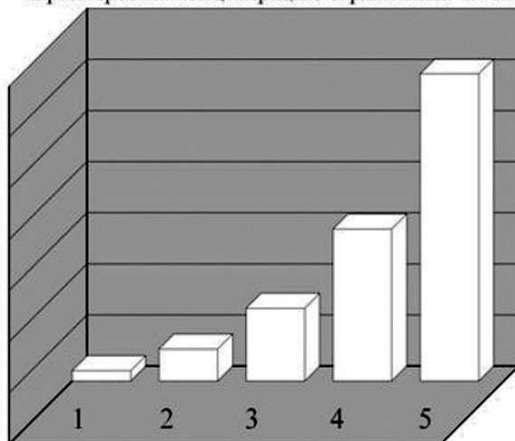


Рисунок 2. Диаграмма относительного влияния конструктивных и режимных параметров ВИ на КЗЧ:

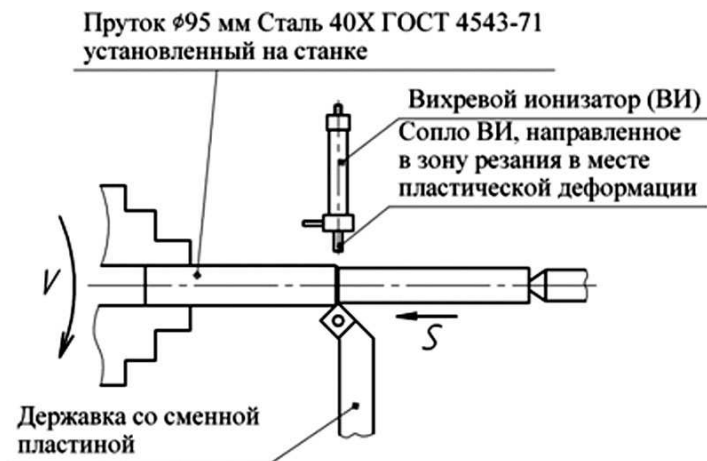
1 — степень перекрытия дросселя, 2 — отверстие в диафрагме, 3 — давление воздуха, 4 — материал сопла, 5 — влажность воздуха

Влажность нагнетаемого воздуха. Использовалось распыление воды на входе в компрессор. Измерялись: КЗЧ и влажность воздуха на входе в ВИ с помощью специального датчика.

На рис. 2 приведена диаграмма влияния различных конструктивных и режимных параметров на ионизационную работоспособность ВИ.

На основе полученных результатов исследований авторы считают возможным использование ВИ для подготовки и подачи в зону резания ионизированного воздуха.

2. Исследование качества обработанной поверхности и стойкости режущего инструмента. Одним из главных показателей качества обработанной поверхности является ее шероховатость. Стойкость режущего инструмента оказывает существенное влияние на шероховатость обработанной поверхности и производительность механообработки [3].



**Рисунок 3. Схема экспериментального стенда
для исследования стойкости режущего инструмента
и шероховатости обработанной поверхности**

Для исследования стойкости режущего инструмента и шероховатости обработанной поверхности был разработан и изготовлен экспериментальный стенд, включающий в себя: токарно-винторезный станок МК 6056 с мощностью привода главного движения $N=11$ кВт; ВИ, настроенный на получение максимальной КЗЧ; сужающий наконечник. Схема стенда приведена на рис. 3.

Подача ионизированного воздуха в зону резания осуществлялась ВИ, полив эмульсией обеспечивался оборудованием станка; охлаждение обдувом сжатым воздухом реализовывалось сужающим наконечником. Работа ВИ и наконечника обеспечивалась центральной цеховой пневматической сетью при давлении воздуха 0,46 МПа. Режущий инструмент — съемная твердосплавная квадратная прямая пластина из материала Т5К10 с диаметром описанной окружности $D=18$ мм и державка правая 2102 - 1007 по МН 3901 - 62, сечение державки $h \times b$ 29 x 20 мм, $\varphi=45^\circ$, $\alpha=10^\circ$, $\gamma=10^\circ$, $\lambda=4^\circ$, $f=0,2$ мм.

В качестве измерительного оборудования было использовано:

1. Приспособление измерительное, включающее призму с зажимом, прикрепленную ко шлифованному столу, на котором располагалась головка измерительная рычажно-зубчатая ИИГ ГОСТ 18833-73 с ценой деления 0,001 мм со стойкой С-Ш-8-50 ГОСТ 10197-70. Приспособление позволяло выполнить измерение

разницы линейного размера, характеризующего радиальный износ пластины с учетом ее наклона в державке.

2. Психрометр аспирационный ГОСТ 6353 - 53.

Обрабатывалась сталь 40Х ГОСТ 4543 - 71, пруток $\varnothing 95$ мм и длиной 500 мм. В качестве СОЖ применялась 5 % эмульсия на водной основе ТУ 38.101149-75, согласно рекомендациям [12, с. 170].

Исследование стойкости режущего инструмента.

Цель исследования: определение числового значения стойкости режущего инструмента при отсутствии охлаждения; охлаждении обдувом сжатым воздухом; поливом СОЖ; подачей в зону резания ионизированного воздуха от ВИ.

На стенд устанавливался пруток и протачивался на глубину 1 мм и длину 420 мм для выравнивания и снятия окисленного слоя металла. На прутке выполнялась выточка для обеспечения длины обработки $L=400$ мм. Влажность и температура окружающего воздуха измерялись психрометром. Исследования проводились при влажности воздуха 90 % и температуре 35 °С.

Последовательность выполнения исследования следующая:

1. На станке устанавливался черновой режим резания: глубина обработки $t=1,5$ мм, подача $s=1$ мм/об, частота вращения шпинделя $n=400$ мин⁻¹ [13, с. 261—275]. При отсутствии охлаждения при установленном режиме обработки пруток протачивался одним проходом, после чего пластина менялась. Опыт повторялся на 3 пластинах без смены прутка.

2. Менялся пруток и протачивался при чистовом режиме: глубина обработки $t=0,5$ мм, подача $s=0,2$ мм/об, частота вращения шпинделя $n=1000$ мин⁻¹ [13, с. 261—275]. Опыт повторялся на 3 пластинах без смены прутка.

3. П.1 и П.2 повторялись при охлаждении различными способами: обдувом сжатым воздухом, поливом СОЖ, подачей ионизированного воздуха в зону резания. При охлаждении ионизированным воздухом сопло ВИ находилось на расстоянии 10 мм от пластины.

Исследование величины шероховатости обработанной поверхности.

Цель исследования: установление зависимости средней шероховатости (Ra) обработанной поверхности при отсутствии охлаждения; охлаждении обдувом сжатым воздухом; поливом СОЖ; подачей в зону резания ионизированного воздуха от ВИ.

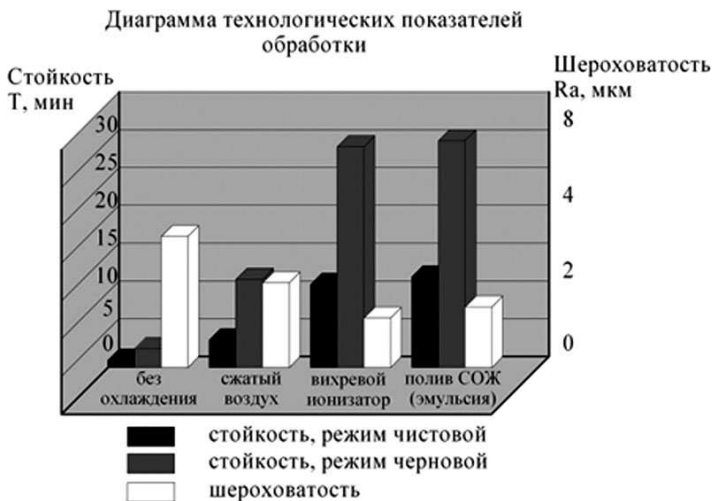


Рисунок 4. Диаграмма результатов исследований стойкости режущего инструмента и шероховатости

Шероховатость измерялась профилометром после каждого чистового прохода.

Результаты исследований стойкости режущего инструмента и шероховатости обработанной поверхности приведены на диаграмме, рис. 4.

Анализ результатов исследований показал, что при обработке с подачей в зону резания охлажденного ионизированного воздуха наблюдается существенное повышение стойкости режущего инструмента по сравнению с обработкой без охлаждения и незначительное снижение по сравнению с поливом эмульсией. Величина шероховатости поверхности при подаче охлажденного ионизированного воздуха существенно меньше, чем при отсутствии охлаждения и незначительно отличается от варианта обработки с поливом эмульсией.

Ввиду технических, экологических и экономических аспектов использование ВИ предпочтительнее [4].

Выводы

1. Экспериментально доказана возможность ионизации воздуха устройством, работающим на принципе вихревого энергетического разделения газов. Наибольшее влияние на эффективность работы ионизатора оказывают влажность и давление воздуха.
2. Величина средней шероховатости обработанной поверхности при использовании ВИ сравнима с величиной средней шероховатости при

поливе эмульсией; в 2,5 раза ниже, чем при отсутствии охлаждения; в 1,8 раза ниже, чем при охлаждении обдувом сжатым воздухом.

3. Стойкость режущего инструмента при охлаждении ионизированным воздухом незначительно (на $5 \div 10$ %) уступает стойкости инструмента при охлаждении поливом эмульсией.

Список литературы:

1. Агапов, С. И. Повышение стойкости инструмента при ультразвуковой обработке деталей // Вестник машиностроения. — 2003. — № 1. С. 62—63.
2. Ахметзянов И. Д. Влияние униполярного коронного разряда на процесс обработки резанием // Научные труды ЧувГУ, Чебоксары, Изд. ЧувГУ.—1987. С. 132—139.
3. Клепиков В. В. Технология машиностроения. Учебник. М.: ФОРУМ ИНФРА, 2004. — 860 с.
4. Курносов Н. Е. Экологические, экономические и технологические аспекты использования ионизированного воздуха в качестве СОТС // Сб. материалов международной научно–практической конференции «Экология и ресурсо– и энергосберегающие технологии на предприятиях народного хозяйства (промышленность, транспорт, сельское хозяйство)», Пенза, ПДЗ.—2009. С. 48—50.
5. Меркулов А. П. Вихревой эффект и его применение в технике. Самара Оптима, 1997. — 348 с.
6. Патент РФ № 2016738. Устройство для ионизации воздуха / Авторы Татаринов А. С., Петрова В. Д., заявка 4839399/08 15.06.1990, опубликовано 30.07.1994.
7. Патент РФ № 2042089. Вихревая труба / Авторы: Курносов Н. Е., Будников И. В., заявлено 30.07.1993, зарегистрировано в госреестре 20.08.1995.
8. Подураев В. Н. Механическая обработка с охлажденным ионизированным воздухом // Вестник машиностроения. — 1991. — № 11. С. 27—31.
9. Попов А. И. Повышение работоспособности режущих пластин из минералокерамики ионно-вакуумной обработкой // Металлообработка.—2006.— № 4. С. 16—19.
10. Потапов В. А. Применение механической обработки с минимальным количеством СОЖ на германских заводах // Машиностроитель. — 1999. — № 11. С. 46 — 52.
11. Сафонов, А. Н. Повышение стойкости инструмента из быстрорежущих сталей методом лазерной обработки // СТИН.—1995.—№ 6. С. 17—20.
12. Смазочно–охлаждающие технологические средства для обработки металлов резанием: Справочник. Под ред. С. Г. Энтелиса, Э. М. Берлинера. М.: Машиностроение. — 1986. — 352 с.
13. Справочник технолога-машиностроителя в 2—х томах. Т 2. Под ред. А. Г. Косиловой и Р. К. Мещерякова. М.: Машиностроение. — 1985. — 496 с.
14. Табаков, В. П. Повышение работоспособности режущего инструмента путём комбинированного упрочнения // СТИН.—2001.—№ 12. С. 5—9.

ИННОВАЦИОННЫЙ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИЙ ПРОЦЕСС ОБРАБОТКИ ШИРОКИМ ВЫГЛАЖИВАНИЕМ

Лукьянов Алексей Александрович

студент, Тольяттинский государственный университет, г. Тольятти

E-mail: a.lukyanov@tehnomasch.ru

Бобровский Игорь Николаевич

*начальник лаборатории, Тольяттинский государственный
университет, г. Тольятти*

E-mail: Bobri@yandex.ru

Ежелев Андрей Викторович

*аспирант, Тольяттинский государственный университет,
г. Тольятти*

В отечественном машиностроении происходит технологическая модернизация, направленная на повышение эффективности производства и конкурентоспособности выпускаемой продукции. Освоение прогрессивных технологий обеспечивается преимущественно за счет приобретения импортного оборудования и инструмента и, в меньшей степени, путем внедрения новых технологических процессов, созданных в нашей стране. Наряду с уже традиционными требованиями постоянного повышения производительности, точности и качества обработки деталей все более активно выдвигается условие экологичности их изготовления. При этом требование экологичности производства в расширенной трактовке затрагивает не только комфортность условий труда, но и уменьшение материало- и энергоемкости выпускаемых изделий, что напрямую влияет на их экономичность и конкурентоспособность.

Применительно к финишным операциям обработки, например, с использованием абразивного инструмента и принудительного охлаждения зоны резания, более предпочтительным с точки зрения экологии представляются процессы поверхностного пластического деформирования (ППД) и особенно те, в которых не применяются смазывающе-охлаждающие технологические среды (СОТС).

Обработка методами ППД состоит в силовом контактном воздействии деформирующего инструмента на поверхность заготовки в условиях их относительного движения [1].

Процесс ППД осуществляется без снятия стружки путем деформирования микронеровностей и глубинных, прилегающих к поверхности, слоев материала. В результате происходит значительное снижение шероховатости, упрочнение поверхностного слоя, в нем возникают

остаточные напряжения сжатия. При этом исключается шаржирование обработанной поверхности абразивными и другими частицами; становится возможным образование частично и полностью регулярных микрорельефов [3]. Эти достоинства в сочетании с высокой производительностью, надежностью и простотой осуществления предопределили широкое и непрерывно расширяющееся применение различных способов финишной обработки давлением практически во всех отраслях промышленности с высокими технико-экономическими показателями.

Для автомобилестроения ключевой проблемой внедрения новой технологии становится ее повышенная надежность и стабильность, то есть уверенность в безусловном выполнении всех необходимых требований к точности и качеству чрезвычайно быстрой обработки огромного количества — до 600 000 и более деталей в год только одного типа — при их непрерывном изготовлении в течение нескольких лет. При отсутствии влияния оператора на ход технологического процесса, выполнение даже относительно несложных требований по точности формы и размеров обрабатываемой поверхности, ее шероховатости и других регулируемых характеристик качества поверхностного слоя, требует тщательной научно-исследовательской подготовки.

В Тольяттинском государственном университете предложен и разработан новый технологический процесс ППД методом выглаживания широким самоустанавливающимся инструментом [2] (рис. 1).

Процесс выглаживания широким самоустанавливающимся инструментом по своей физической сущности близок к традиционному процессу выглаживания алмазным сферическим индентором. В обеих схемах упрочнение происходит в условиях трения скольжения с интенсивным нагружением в контактной зоне.

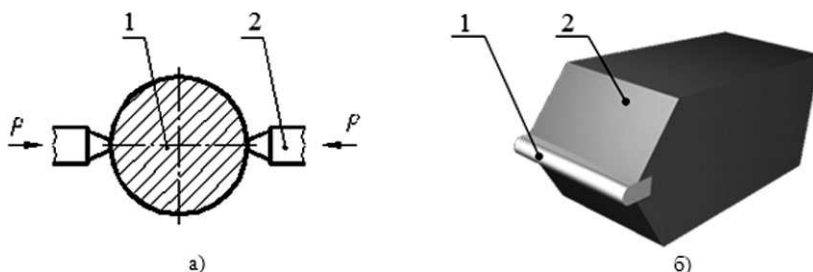


Рисунок 1. Процесс обработки широким самоустанавливающимся выглаживателем:

а) схема обработки, где 1 — обрабатываемая деталь, 2 — выглаживатель; б) выглаживатель, где 1 — рабочая часть выглаживателя, 2 — корпус

Разработаны технологические схемы выглаживания широким самоустанавливающимся инструментом (рис. 2).

Обкатывание роликом, как и широкое выглаживание, является высокопроизводительным методом отделочно-упрочняющей обработки, так как деформирует поверхность детали по всей её ширине. Его преимуществом является также упрочнение в условиях трения качения, что более благоприятно в сравнении с трением скольжения. Но конструктивно устройство для обкатывания более сложное, чем при широком выглаживании, так как необходимо обеспечить самоустановку и базирование выглаживающего ролика относительно обрабатываемой поверхности детали и его вращение без заедания при большом давлении.

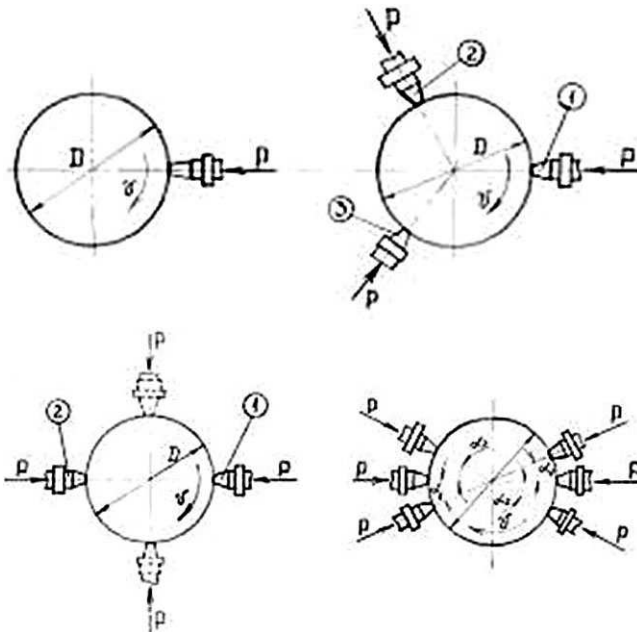


Рисунок 2. Основные технологические схемы процесса широкого выглаживания

По этой причине, для массового автомобильного производства при непрерывном выпуске в течение длительного времени большого числа обрабатываемых деталей, предпочтение для внедрения было отдано методу выглаживания широким самоустанавливающимся инструментом.

Разработанные оригинальные технологические схемы и конструкции инструментов, технических устройств для широкого выглаживания деталей из конструкционных сталей и высокопрочных чугунов с машинным временем обработки 6...10 с, позволили заменить ранее применявшуюся технологию шлифования абразивными лентами с охлаждением керосином. По сравнению с другим возможным альтернативным методом выглаживания алмазным индентором с точечным контактом и продольной подачей инструмента, новый процесс широкого выглаживания твердосплавным инструментом позволяет увеличить производительность обработки однотипных деталей до 75 раз.

В заключение необходимо отметить, что количество способов ППД обширно, все они хорошо изучены, каждый из них имеет собственную технологическую нишу. Однако в основном все они внедрены преимущественно в мелкосерийное производство для ответственных деталей. Возможно заменять финишные процессы, например, тонкого точения, шлифования или полирования с охлаждением, на методы ППД без применения смазочно-охлаждающих средств, но среди известных методов ППД очень трудно найти технологический процесс, который бы удовлетворял требованиям массового производства, в условиях которого за очень короткое время необходимо достичь требуемого качества обработки детали.

Список литературы:

1. Барац, Я. И. Оптимальное сочетание методов ППД при финишной обработке сопрягаемых поверхностей, работающих в условиях трения скольжения / Я. И. Барац // Научн.конференция: Надежность механических систем. — 1995. — С. 19—20.
2. Бобровский Н. М., Мельников П. А., Бобровский И. Н., Ежелев А. В., Лукьянов А. А. Исследование влияния режимов обработки на шероховатость поверхности закаленных валов в условиях массового производства // Современные проблемы науки и образования. — 2011. — № 5; URL: www.science-education.ru/99-4791 (дата обращения: 19.02.2012).
3. Одинцов, Л. Г. Финишная обработка деталей алмазным выглаживанием и вибровыглаживанием / Л. Г. Одинцов. — М.: Машиностроение, 1981.

РАЗРАБОТКА МАГНИТОЖИДКОСТНЫХ ГЕРМЕТИЗАТОРОВ ВРАЩАЮЩИХСЯ ВАЛОВ

Сайкин Михаил Сергеевич

канд. техн. наук, доцент ИГЭУ, г. Иваново

E-mail: Saikin@eef.ispu.ru

Высокая герметичность валов технологического оборудования, совершающих вращательное или возвратно-вращательное движение, может быть обеспечена применением магнитожидкостных герметизаторов (МЖГ). Они устанавливаются между средами с перепадом давлений или средами, содержащими различные вещества, для предотвращения их перемешивания. Герметизируемой средой может являться вакуум, инертные газы, пары и жидкости.

Основными преимуществами МЖГ перед традиционными уплотнениями являются: практически абсолютная герметичность, малый собственный момент трения, отсутствие износа, высокая долговечность и простота технического обслуживания. Они имеют высокий ресурс работы и стабильность эксплуатационных характеристик: рабочего перепада давлений и момента трения.

Независимо от особенностей конструкции, магнитная цепь МЖГ состоит из одних и тех же элементов. К ним относятся: источник магнитного поля, в качестве которого используются постоянные магниты, магнитопровод, изготовленный из магнитопроводной стали с высокой индукцией магнитного насыщения и магнитная жидкость (МЖ).

При соблюдении технических условий эксплуатации, постоянные магниты обладают высокой стабильностью своих свойств и обеспечивают гарантированные характеристики в течение длительного времени [3, 6—8].

Отдельные части магнитопровода МЖГ изготовлены из конструкционной стали. Магнитные свойства стали, не изменяются в течение срока службы МЖГ [1].

В течение некоторого времени после заправки МЖ происходит возрастание перепада давлений под зубцами МЖГ в 1,5—1,7 раза. Это обусловлено перераспределением начальной концентрации ферромагнитных частиц по объёму МЖ в неоднородном магнитном поле МЖГ. Частицы стягиваются в области МЖ с наибольшей индукцией, но повышение их концентрации ограничивается силами отталкивания, обусловленными диполь-дипольным взаимодействием, действием защитных оболочек поверхностно-активных веществ на частицах и расклинивающим действием основы. Чем больше градиент

магнитного поля в зазоре МЖГ, который для индукции может достигать $\nabla B=1000$ Тл/м, тем сильнее перераспределение концентрации частиц по частям объёма МЖ [4]. Частицы магнетита стремятся в область с большим значением градиента индукции магнитного поля. Время расслоения МЖ зависит от её свойств величины и градиента магнитной индукции и определяется следующим образом:

$$t = \frac{g \cdot \eta \cdot h}{2 \cdot a^2 \cdot M \cdot \Delta B} \quad (1)$$

где: g — ускорение свободного падения;

η — динамическая вязкость дисперсионной фазы МЖ

h — половина величины зазора;

a — радиус магнитной частицы в жидкости;

\bar{M} — намагниченность магнитной жидкости

\bar{B} — индукция магнитного поля

Сохранение стабильности свойств МЖ обеспечивает постоянство перепада давлений и момента трения. Перераспределение МЖ в неоднородном магнитном поле герметизатора приводит к изменению её свойств и, следовательно, эксплуатационных характеристик МЖГ. С увеличением перераспределения МЖ перепад давлений, удерживаемый МЖГ, увеличивается, но при этом возрастает пусковой момент трения.

Если по технологического регламенту работы оборудования величина рабочего перепада давлений уменьшается, то можно снизить величину магнитной индукции в рабочем зазоре герметизатора и, тем самым, уменьшить расслоение МЖ. Это приводит к увеличению ресурса работы МЖ, а значит и МЖГ в целом.

Поэтому, одной из задач использования МЖГ для технологического оборудования различного назначения является создание конструкций с возможностью регулирования параметров магнитного поля в рабочем зазоре.

Одна из таких конструкций представлена на рис. 1. Она имеет основной и дополнительный магнитный узлы [9]. Основной магнитный узел состоит из постоянного магнита 1, намагниченного в осевом направлении, полюсов 2 и 3, соединенных немагнитной втулкой 4 посредством сварки. Магнитный узел устанавливается в корпус 5. На обращённых друг к другу цилиндрических поверхностях корпуса 5 и полюса 2 выполнена резьба. Длина резьбы «L» выбирается из конструктивных соображений для каждого конкретного случая.

Остальные части поверхностей полюса 2 и корпуса 5 изготовлены по посадке, что гарантирует выполнение установочных размеров. Для предотвращения утечек среды между корпусом 5 и полюсом 2 установлено статическое уплотнение 6.

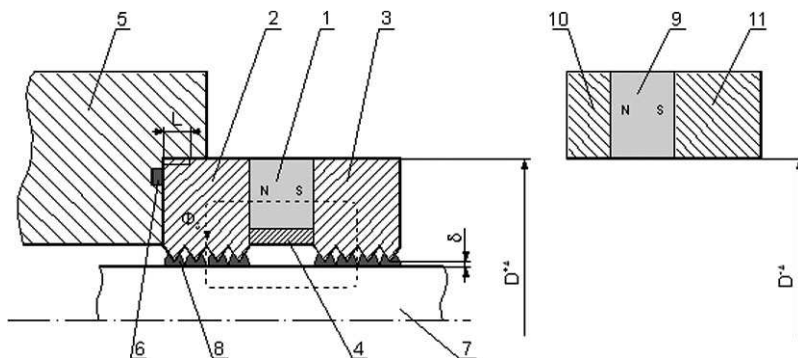


Рисунок 1. МЖГ с дополнительным магнитным узлом

Рабочий магнитный поток Φ_{δ} основного узла замыкается по пути: постоянный магнит 1, полюс 2, рабочий зазор δ , вал 7, рабочий зазор δ , полюс 3, постоянный магнит 1 и образует замкнутую магнитную цепь. МЖ 8 взаимодействует с полем постоянного магнита и удерживается в рабочем зазоре пондеромоторной силой, образуя препятствие для прохождения герметизируемой среды.

Дополнительный магнитный узел состоит из постоянного магнита 9 и полюсных приставок 10 и 11, примыкающих к его торцевым поверхностям. При его установке увеличивается величина магнитного потока Φ_{δ} , проходящего через рабочий зазор δ , а значит и величина пондеромоторной силы, удерживающей МЖ в рабочем зазоре МЖГ. При этом возрастает рабочий перепад давлений МЖГ. Наличие дополнительного узла позволяет регулировать магнитный поток в рабочем зазоре δ .

При снятом дополнительном узле снижается величина магнитного потока и индукции, что приводит к уменьшению расслоения МЖ, и к увеличению ресурса работы МЖГ. Перед началом эксплуатации производят монтаж дополнительного магнитного узла. При этом магнитный поток Φ_{δ} в рабочем зазоре МЖГ увеличивается, что позволяет получить требуемые эксплуатационные характеристики.

При использовании набора дополнительных магнитных узлов появляется возможность производить настройку МЖГ на перепад давлений в зависимости от требуемых условий эксплуатации.

Основной и дополнительный магнитные узлы выполнены таким образом, что наружный диаметр основного узла соответствует размеру $D-\Delta$, а внутренний диаметр дополнительного узла размеру $D+\Delta$. Это позволяет осуществлять быстрый монтаж и демонтаж дополнительного магнитного узла.

Такую конструкцию МЖГ целесообразно применять для герметизации вращающихся валов вакуумного оборудования, когда возникает необходимость в длительном хранении технологического узла перед началом его эксплуатации

На рис. 2 представлена конструкция МЖГ предназначенного для герметизации валов диаметром до 500 мм и скоростью вращения до 1 м/с [2].

МЖГ состоит из магнитного узла в виде постоянного магнита 1 с полюсными наконечниками 2 и 3, заключённого в обойму 4, установленного на немагнитном валу 5 и магнитопровода в виде самоустанавливающихся колец 6 и 7 в магнитном корпусе 8, охватывающих торцевые поверхности полюсных наконечников. Между полюсными наконечниками и самоустанавливающимися кольцами размещены тела качения 9, которые опираются на вкладыши 10—13, выполненные из немагнитного материала и закалённые до твёрдости, близкой к твёрдости тел качения. В конструкцию МЖГ входит регулировочный элемент в форме кольца 14, изготовленный из магнитопроводного материала с возможностью перемещения по резьбе, выполненной на внутренней цилиндрической поверхности кольца 7. Кольца 6 и 7 жёстко соединены между собой немагнитной втулкой 15, например, с помощью сварки. Между полюсным наконечником 3 и валом 5 установлено статическое уплотнительное кольцо 16.

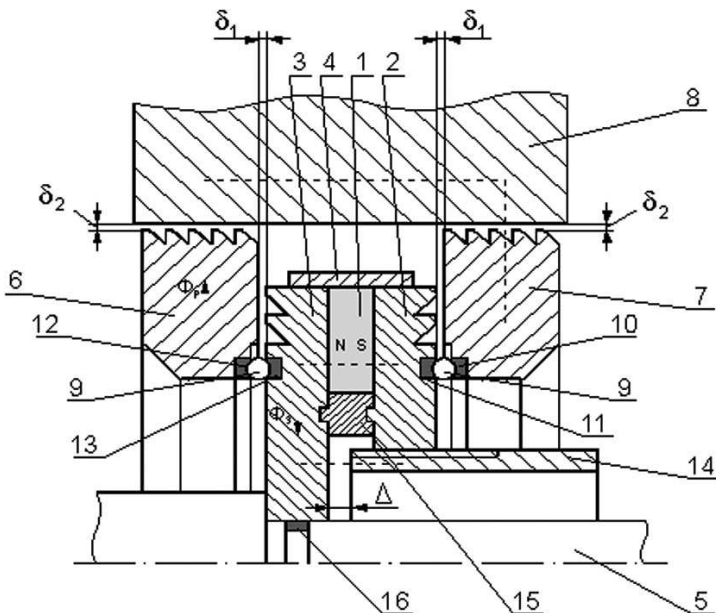


Рисунок 2. МЖГ с регулируемыи рабочими характеристиками

Работа МЖГ состоит в следующем. Производят сборку и заправку магнитной жидкостью радиальных δ_1 и торцевых δ_2 рабочих зазоров. Рабочий поток Φ_r проходит по пути постоянный магнит 1, полюсный наконечник 3, торцевой зазор δ_2 , магнитопроводное кольцо 6, радиальный зазор δ_1 , магнитопроводный корпус 8, другой радиальный зазор δ_1 , магнитопроводное кольцо 7, другой торцевой зазор δ_2 , полюсный наконечник 2, постоянный магнит 1. Постоянный магнит создаёт магнитное поле в радиальных и торцевых рабочих зазорах, которое удерживает в них МЖ и обеспечивает их герметичность. После сборки МЖГ регулируют его перепад давлений на испытательном стенде. При этом создаётся перепад давлений, превышающий рабочий перепад давлений в 1,2—1,5 раза. В том случае, если удерживаемый перепад давлений больше рабочего, с учётом коэффициента запаса, регулировочный элемент 14 перемещается по резьбе, выполненной на внутренней цилиндрической поверхности кольца 7. При этом уменьшается зазор Δ и появляется магнитный поток Φ_s , который проходит по пути постоянный магнит 1, полюсный наконечник 3, регулировочный элемент 14, полюсный наконечник 2, постоянный магнит 1. Это приводит к уменьшению рабочего потока:

$$\Phi_P = \Phi_O - \Phi_S, \quad (2)$$

где Φ_O — общий магнитный поток от постоянного магнита,

Φ_S — магнитный поток, проходящий через регулировочный элемент.

Уменьшение магнитного поля в рабочих зазорах δ_1 и δ_2 приводит к уменьшению удерживаемого перепада давлений МЖГ. Регулировочный элемент 14 перемещается по резьбе до тех пор, пока уменьшение зазора Δ не приведёт к появлению течи через рабочие зазоры δ_1 и δ_2 выше допустимой. После этого перепад давлений с уплотнения снимают и оно готово к работе.

Такая регулировка позволяет настроить серию уплотнений на один удерживаемый перепад давлений и не допускать завышения магнитного поля в рабочих зазорах.

Предлагаемую конструкцию целесообразно использовать при герметизации вращающихся валов вакуумной техники, где существуют жёсткие требования по соблюдению постоянства перепада давлений.

При герметизации валов часто возникает задача защиты рабочего зазора от попадания в него магнитных частиц, которые приводят к разрушению МЖ. На рис. 3 представлена конструкция МЖГ для сред с магнитными включениями [10].

МЖГ состоит из кольцевой магнитной системы, включающей в себя постоянный магнит 1, намагниченный в осевом направлении, к торцевым поверхностям которого примыкают полюсные приставки 2 и 3, образующие рабочий зазор δ с вращающимся валом 4, который заполнен магнитной жидкостью 5.

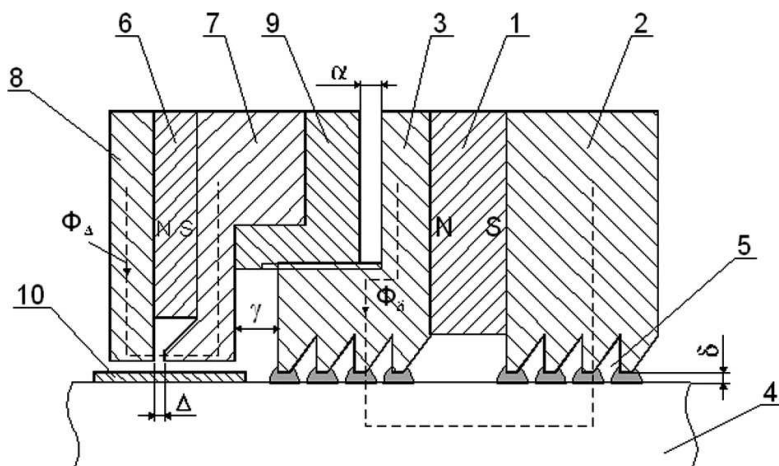


Рисунок 3. МЖГ с защитным магнитным узлом

Для исключения попадания в рабочий зазор δ магнитных включений со стороны герметизируемой среды предусмотрено средство защиты в виде отдельного магнитного узла, состоящего из постоянного магнита 6, к торцевым поверхностям которого примыкают две полюсные приставки 7 и 8. На полюсной приставке 7 выполнен выступ, обращённый к торцевой поверхности полюсной приставки 8, образующей с ней зазор Δ . Величина этого зазора может отличаться от величины рабочего зазора δ . Выступы могут быть выполнены на обеих полюсных приставках и обращены друг к другу. Отдельный магнитный узел крепится к немагнитопроводной втулке 9, причём на её внутренней цилиндрической поверхности и на обращённой к ней наружной цилиндрической поверхности полюсной приставки 3 выполнена резьба. На вал 4 посажено немагнитопроводное кольцо 10, расположенное внутри отдельного магнитного узла. Конструкция уплотнения выполнено таким образом, что зазор α , между полюсной приставкой 3 МЖГ и немагнитопроводной втулкой 9 отдельного магнитного узла, всегда меньше чем зазор γ , между полюсной приставкой 3 МЖГ и полюсной приставкой 7 отдельного магнитного узла.

В МЖГ могут применяться постоянные магниты в форме колец, намагниченные в осевом направлении, или наборные магниты, например, в форме пластин.

Магнитожидкостное уплотнение работает следующим образом.

Рабочий магнитный поток Φ_6 замыкается по пути: постоянный магнит 1, полюсная приставка 3, рабочий зазор δ , вал 4, рабочий зазор δ , полюсная приставка 2, постоянный магнит 1 и образует замкнутую магнитную цепь. Магнитная жидкость 5 взаимодействует с полем постоянного магнита и удерживается в рабочем зазоре δ пондеромоторной силой, образуя препятствие для прохождения герметизируемой среды.

Особенность предлагаемой конструкции МЖГ состоит в том, что в нём предусмотрено средство защиты в виде отдельного магнитного узла состоящего из постоянного магнита 6 к торцевым поверхностям которого примыкают две полюсные приставки 7 и 8, при этом, хотя одна из них имеет выступ, обращённый к торцевой поверхности другой полюсной приставки. Отдельный магнитный узел крепится к немагнитопроводной втулке 9. На вал посажено немагнитопроводное кольцо 10.

Магнитный поток Φ_Δ проходит по пути: постоянный магнит 6, полюсная приставка 8, зазор Δ , полюсная приставка 7, постоянный магнит 6.

Магнитные включения, попадая в зазор Δ , удерживаются в нём пондеромоторной силой, что исключает их попадание в рабочий зазор

δ и контакт с магнитной жидкостью. Для увеличения потока Φ_{Δ} , а значит и пондеромоторной силы, действующей на магнитный включения, на вал посажено немагнитопроводное кольцо 10. Это снижает или полностью исключает прохождение магнитного потока Φ_{Δ} через вал 4.

Величина магнитного потока Φ_{Δ} и пондеромоторной силы может регулироваться за счёт выбора материалов постоянных магнитов 6, а также выбора величины зазора Δ .

При наполнении зазора Δ магнитными включениями производится демонтаж отдельного магнитного узла, а магнитные включения удаляются из зазора Δ механическим путём.

Разработанные МЖГ имеют следующие эксплуатационные характеристики:

- линейная скорость на поверхности вала в длительном режиме, м/с: от 0 до 15;
- критический перепад давлений, МПа: от 0,05 до 0,50;
- диаметры герметизируемых валов, мм: от 12 до 1500;
- наработка на отказ, тыс. час: от 5 до 70;
- срок службы, тыс. час: 120.

Разработанные конструкции МЖГ обладают следующими преимуществами:

- обеспечивают увеличение ресурса работы, что особенно проявляется при кратковременном и повторно-кратковременном действии перепада давлений;
- позволяют настраивать рабочие характеристики в зависимости от требований технологического процесса, что даёт возможность использовать их при различных условиях;
- допускают длительное хранение герметизаторов перед эксплуатацией при сохранении их рабочих характеристик.

Большое разнообразие МЖ [5] позволяет использовать МЖГ для герметизации валов вакуумной арматуры и узлов специального назначения, химических и биологических реакторов, электро-технологического и энергетического оборудования. МЖГ обладают высокой надёжностью, просты в обслуживании и эксплуатации, не опасны для персонала и не наносят вред окружающей среде.

Список литературы:

1. Барон Ю. М. Магнитно-абразивная и магнитная обработка изделий и режущих инструментов. — Л.: Машиностроение, Ленинградское отделение, 1986. — 176 с.

2. Баусов А. М., Сайкин М. С. Магнитожидкостное уплотнение. Свидетельство на полезную модель, Российская Федерация № 20561, МКИ F16J 15/46, Приоритет от 15.05.2001, опубл. 10.11.2001, Бюл. № 31.
3. Булыгина Т. И., Кононенко А. С., Потапова Л. В. Температурная стабильность свойств высокоэнергетических магнитов из сплавов РЗМ-Fe-B// Тр. ВНИИ-ЭМ. — 1987. — Т. 85.
4. Казаков Ю. Б., Сайкин М. С., Щелькалов Ю. Я. Учёт перераспределения магнитных частиц в магнитной жидкости, находящейся в неоднородном магнитном поле герметизатора./ Электротехника, № 12, 2003. — С. 20—24.
5. Курченков А. Г. Магнитные жидкости — новый эффективный материал.// Механизация и автоматизация, 1990. № 4. — С. 34—35.
6. Постоянные магниты. Справочник. / Под.ред. д. т. н. проф. Пятин Ю. М. — М.: Энергия, 1980. — 176 с.
7. Рабинович Ю. М., Сергеев В. В., Потапова Л. В. и др. Эксплуатационные характеристики магнитов из сплавов типа РЗМ-Fe-B // Электротехника.- 1989. — № 11. — С. 21—26.
8. Сайкин М. С. Особенности выбора постоянных магнитов для магнитожидкостных герметизаторов технологического оборудования./ Вестник научно-промышленного общества, М: Изд-во «АЛЕВ-В», Вып. 7, 2004, С. 15—19.
9. Сайкин М. С. Магнитожидкостное уплотнение. Патент на полезную модель, Российская Федерация № 56531, МКИ F16J 15/54, Приоритет от 16.01.2006, опубл. 10.09.2006, Бюл. № 25.
10. Сайкин М. С. Магнитожидкостное уплотнение вала для сред с магнитными включениями. Патент на полезную модель, Российская Федерация № 97179, МКИ F16J 15/53, Приоритет от 01.03.2010, опубл. 27.08.2010, Бюл. № 24.

ИСПОЛЬЗОВАНИЕ НАТИРАНИЯ, КАК ОСНОВНОГО ФАКТОРА АКТИВАЦИИ ПОВЕРХНОСТИ ПРИ ХРОМИРОВАНИИ ДЕТАЛЕЙ ИЗ ТИТАНОВЫХ СПЛАВОВ

Секретарева Светлана Александровна

аспирант, СамГТУ, г. Самара

E-mail: sveta_secretarev@mail.ru

Электролитическое хромирование является одним из важнейших гальванических процессов и широко применяется в различных отраслях промышленности и в самых разнообразных целях (защита трущихся деталей машин и механизмов износа, придание поверхности деталей высоких антифрикционных свойств, защита от коррозии как в атмосферных условиях, так и в условиях воздействия высоких температур и агрессивных газов, восстановление изношенных деталей машин, изготовление нетускнеющих на воздухе металлических зеркал отражателей, защитно-декоративная отделка металлических и неметаллических изделий и т. д.).

В настоящее время большой интерес уделяется хромированию титана и его сплавов. Легкий, высокопрочный титан и его сплавы отличаются высокой коррозионной устойчивостью, нанесение на их поверхность других металлов осуществляют главным образом в функциональных целях. Электроосаждение хрома (также, как и других металлов) на титан и его сплавы сопряжено со значительными трудностями, что объясняется наличием на поверхности титана прочно сцепленной с основной оксидной пленкой. При нанесении электролитических покрытий на титановые сплавы имеет место малый выход по току, высокая пористость, недостаточная коррозионная стойкость, увеличение шероховатости с ростом толщины покрытия, что приводит к необходимости их шлифования. Существует несколько путей решения этих проблем: совершенствование состава электролита; использование нестационарных токовых режимов осаждения, обеспечивающих повышение герметичности и снижению наводораживания покрытия; введение в электролит органических добавок (ПАВ), позволяющих улучшить экологию процесса.

Наиболее перспективным направлением для решения выше указанных задач является разработка технологии нанесения электролитических покрытий на поверхности деталей из титановых сплавов, использующей эффект активации.

В ходе исследования были выяснены основные факторы активации поверхности при хромировании деталей из титановых сплавов, такие применение струйной подачи электролита в рабочую

зону, использование натирания и применение переменного тока вместо постоянного тока.

Современные требования электрохимической технологии и экологические приоритеты заставляют пересматривать традиционные подходы к конструированию гальванических ванн, решать по-новому обычные задачи, такие как, например, перемешивания электролитов и подача его в рабочую зону, отказываясь от общепринятого перемешивания растворов сжатым воздухом или качанием катодных штанг [2, 3].

Использование струйной подачи электролита обеспечивается наличием форсунок. Конфигурация форсунки должно специально разрабатываться исходя из типов электролитов, покрываемых изделий, конструкции гальванической ванны.

Форсунки можно также использовать для перемешивания электролита, так как общепринятые методы перемешивания такие как: воздушное перемешивание и перемешивание при помощи движущейся катодной штанги имеют ряд недостатков (неравномерность перемешивания, происходит интенсивный вынос химикатов пузырьками воздуха, увеличивается расход электроэнергии за счет потери тепла и т. д.).

Также эффективным способом повышения качества сцепления с подложкой является использование периодического тока вместо постоянного.

При использовании постоянного тока наблюдается колебание температуры, а при использовании периодического тока колебания температуры практически не происходит.

Источник питания, представляет собой однофазный трансформатор переменного тока, имеющий электронный блок для создания асимметричной нагрузки на рабочую зону.

Так же одним из важных направлений для решения проблемы нанесения электролитического хрома на поверхность деталей изготовленных из титановых сплавов, является разработка технологии нанесения электролитических покрытий с использованием процесса натирания.

Исследованиями, проведенными в НТЦ «Надёжность» СамГТУ установлено, что при активации защищаемых поверхностей в процессе нанесения покрытий с помощью натирания и использования струйной подачи электролита в рабочую зону повышается активность центров кристаллизации, равномерность и прочность осаждения покрытий на защищаемых поверхностях.

В данной разработке повышение качества сцепления покрытия с подложкой обеспечивается за счет того, что ванна снабжена дополнительным анодом, несущим натирающий тампон, помещенный в ванну с электролитом и погруженный вместе с катодом в электролит. Натирательный тампон прижимают к покрываемой поверхности с помощью рычажного механизма и осуществляют его перемещение. Тампон изготавливается из терморезистивного стеклопластика.

Натирание поверхности происходит в течение всего цикла нахождения детали в ванне хромирования. Продолжительность процесса хромирования зависит от заданной толщины хромового покрытия, но не превышает 50 минут. Схема устройства для повышения качества сцепления покрытия с подложкой представлена на рис. 1.

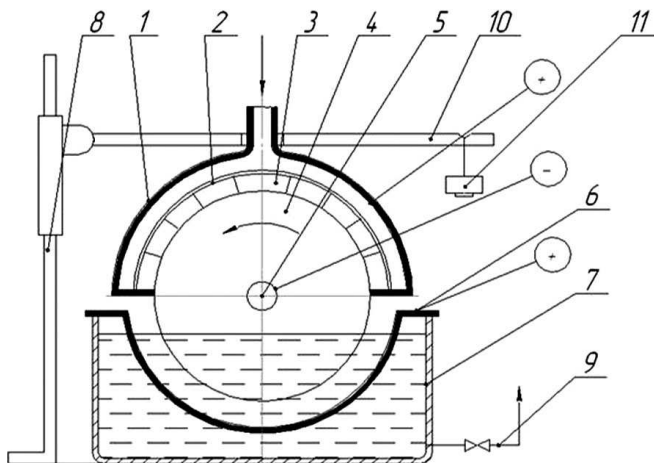


Рисунок 1. Схема устройства для активации поверхности материала

Устройство работает следующим образом. Деталь-катод 4 устанавливается и закрепляется в катододержателе 5 в рабочую позицию над основным полным анодом 1, тампоном 3 и нагружающим механизмом 10, 11. Включается механизм вращения детали- катода 4 и насосно-фильтровальная установка (на чертеже не показана), которая по магистрали 9 подает электролит из ванны 7 в основной полый катод 1. Включается блок электропитания гальванической установки и начинается осаждение металла на детали-катоде как с помощью основного полого анода 1, так и дополнительного анода 6, что увеличивает равномерность структуры гальванического покрытия и производительность процесса [1].

Список литературы:

1. Пат 2292410 Российской Федерации, RU 2292410. С1. Устройство для нанесения электролитических покрытий. /Ганин А. Н., Гонченко Б. В., Громаковский Д. Г. и др. Бюлл. № 3 от 27.01.2007 г.
2. Солодкова Л. Н. Электролитическое хромирование. М.: Глобус, 2007 — 191 с.
3. Шлугер М. А. Ускорение и усовершенствование хромирования деталей машин. М.: Машгиз, 1961. — 140 с.

СЕКЦИЯ 2.

ПРИБОРОСТРОЕНИЕ, МЕТРОЛОГИЯ

АНАЛИТИЧЕСКИЙ ОБЗОР МЕТОДОВ ОПРЕДЕЛЕНИЯ ПЛОТНОСТИ БУРОВЫХ РАСТВОРОВ

Калёнов Сергей Андреевич

аспирант, ТюмГНГУ ИКИС, г. Тюмень

E-mail: advancebox@yandex.ru

Рассматриваемые методы широко применяются в промышленных датчиках для измерения плотностей жидкостей с различными характеристиками, в том числе и плотности бурового раствора. При бурении скважин достоверность и оперативность получаемых данных от таких измерителей влияют на решения, принимаемые инженерно-технологическими работниками буровой бригады, что напрямую влияет на качество бурения ствола скважины. В полевых условиях контроль над параметрами бурового раствора ведется как непрерывно с помощью датчиков, так и дискретно, посредством отбора и анализа проб лаборантом или инженером по растворам. Обзор и анализ широко применяемых методов определения плотности жидкости позволит выделить их преимущества и недостатки при работе с буровым раствором.

Дискретные методы определения

Весовые методы

Для определения объема применяют мерные колбы (пикнометры), мерные цилиндры, пипетки или бюретки. Погрешность при измерении объема градуированными мерными колбами обычно не превышает 0,5 %. Пустую и заполненную контролируемой жидкостью мерные колбы взвешивают на прецизионных или лабораторных весах. Часто применяют пикнометры, представляющие собой сосуды известного объема с нанесенной на горле шкалой или отметкой, до которой следует производить их заполнение. Так как при разогреве пикнометр расширяется, при точных измерениях следует предварительно проверять зависимость его объема от температуры. Точные измерения производят в пикнометрах объемом 30 мл. Измерения, допускающие среднюю

точность 0,1 %, выполняют в пикнометрах объемом до 5 мл [1]. Так как погрешность при определении веса не должна превышать нескольких миллиграммов, взвешивание производят на лабораторных весах.

Для измерения плотности веществ, находящихся под давлением, например, аэрозолей, существуют герметичные пикнометры, наполняемые непосредственно из упаковки аэрозоля [2].

Для измерения плотности пастообразных веществ преимущественно применяют металлические пикнометры. При правильном заполнении пикнометра исследуемая среда должна вытесняться через отверстие, предусмотренное в крышке прибора. Так как объем пикнометра и объем исследуемой среды зависят от температуры, часто в пикнометр встраивают термометр. Целесообразно использовать автономный термометр с ценой делений шкалы не более 0,2°С. [2]

Ареометрический метод

При взвешивании тела известного объема V в воздухе p_l , а затем в исследуемой жидкости p_f разность весов $p_l - p_f$ численно равна весу вытесненной жидкости:

$$p = (p_l - p_f) / V$$

Применяемый при этом метод «гидростатических весов» подлежит градуировке. Для экспрессного определения плотности применяют ареометры, представляющие собой заполненную грузом ампулу с тонкой удлинненной верхней частью, градуированной в единицах плотности. Отсчет плотности или концентрации раствора в процентах производят по делению, до которого ареометр погружается в контролируемую среду. Погрешность хороших ареометров составляет несколько десятитысячных [2, 5].

Вибрационный метод

Стеклянный капилляр диаметром 2 мм заполняют исследуемым веществом. Электромеханическая система возбуждает собственные колебания капилляра, частота которых служит мерой плотности находящегося в нем вещества. Продолжительность измерения зависит от продолжительности установления теплового равновесия между помещенным в термостат держателем и заполненным средой капилляром. Температура задается уставкой термостата и может автоматически поддерживаться в диапазоне (-10)÷(+70)°С. Погрешность определения плотности обычно составляет $\pm 2,5 \times 10^{-4}$ г/см³. Необходимое для измерения количество исследуемого вещества около 1 мл [2].

Применение дискретных способов измерения (весового и вибрационного) в полевых условиях требует больших затрат времени на доставку раствора с буровой и ожидание его выхода в требуемый температурный режим. После проведения измерений также необходима чистка приборов, что требует больших затрат времени и чистой воды, доставка которой в лабораторию может представлять значительные трудности. По этой причине, на практике предпочтение отдается ареометрическому методу определения плотности, обладающему достаточно высокой точностью, большей оперативностью и меньшими затратами времени на обслуживание приборов.

Непрерывные методы измерения плотности.

Весовые методы.

Непрерывный метод измерения плотности основан на непрерывном взвешивании протекающей через сосуд постоянного объема контролируемой среды. Таким образом, конструкция прибора должна обеспечивать свободное перемещение сосуда (U-образной трубки 1) при непрерывном поступлении и вытекании контролируемой среды и одновременно его подвижность для непрерывного взвешивания.

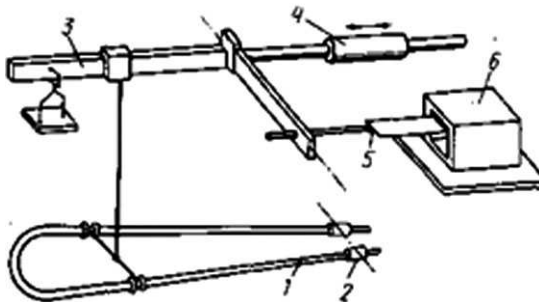


Рисунок 1. Плотномер непрерывного действия с U-образной трубкой:

***1 — измерительная трубка; 2 — гибкие соединения;
3 — коромысло весов; 4 — уравнивающий груз; 5 —
устройство изменения диапазона измерения; 6 — измерительный преобразователь***

На рисунке 1 показано устройство с U-образной трубкой, концы которой гибко соединены с источником и приемником контролируемой среды. В средней части (в центре тяжести) трубка подвешена к

весоизмерительному устройству с пневматическим или индуктивным преобразователем в зависимости от требований к взрывоопасности прибора. Так как часть веса трубки передается на линии подвода и отвода среды, то необходима эмпирическая градуировка [3]. Вместо U-образной трубки можно использовать непрерывно взвешиваемый прямой участок трубопровода (рисунок 2). Для подвода и отвода среды могут применяться гибкие гофрированные шланги (сильфоны), обеспечивающие подвижность измерительного участка в вертикальном направлении.

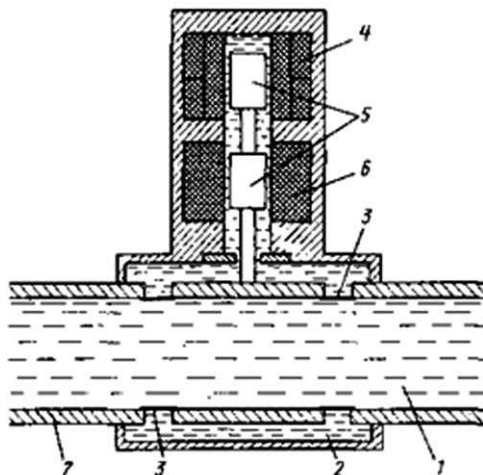


Рисунок 2. Измерение плотности взвешиванием подвижного участка трубопровода:

- 1 — контролируемая среда; 2 — эталонная жидкость (например, вода) для компенсации веса измерительной системы;**
- 3 — эластичное соединение с трубопроводом;**
- 4 — дифференциально-трансформаторный преобразователь;**
- 5 — железный якорь; 6 — компенсирующая усилие обмотка магнита; 7 — трубопровод**

На рисунке 3 представлен третий вариант прибора, в котором измерительный сосуд подвешен между двумя спиральными подводщими среду трубками.

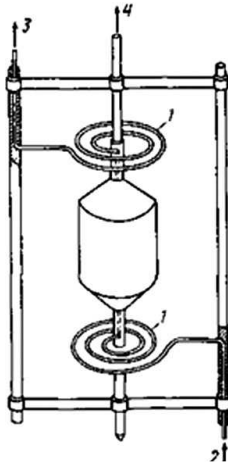


Рисунок 3. Измерительная емкость со спиральными подводными трубками: 1 — спиральные трубки; 2 — подводная трубка; 3 — отводящая трубка; 4 — присоединение к весоизмерительному устройству

При повышенных требованиях к точности измерения для непрерывного взвешивания применяют силовую компенсационную систему [3, 6, 7].

Гидростатические методы

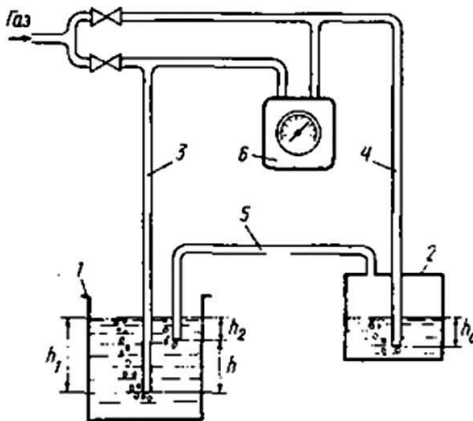


Рисунок 4. Устройство для измерения плотности с барботажной (пьезометрической) трубкой

Такое устройство (рисунок 5) состоит из измерительного стакана 1 с помещенным в него металлическим поплавком 2. Контролируемая среда подается через штуцер 3 и отводится через штуцер 4; дроссель 5 ограничивает скорость поступления жидкости. Экраны 6 исключают возможность завихрений потока контролируемой среды. Изменение плотности контролируемой среды обуславливает изменение высоты подъема поплавка и перемещение соединенного с ним плунжера 7 трансформаторного преобразователя.

Температурная компенсация может осуществляться термометром сопротивления, включенным в измерительную схему вторичного прибора или при помощи второго поплавка, помещенного в стакан с эталонной жидкостью, имеющей ту же температуру и одинаковый с контролируемой средой температурный коэффициент плотности. При использовании данного метода определения плотности погрешность измерения составляет примерно $\pm 1\%$ [6, 7].

Измерение плотности радиоизотопными методами

Основным преимуществом радиоизотопных плотномеров является бесконтактный характер измерения, что облегчает определение плотности агрессивных и вязких сред, особенно, находящихся при высоких температурах и давлениях.

В устройстве для измерения плотности, показанном на рисунке 6, в качестве приемника излучения применена ионизационная камера; β -излучение радиоактивного источника ослабляется контролируемой средой в зависимости от ее плотности и, поступая в ионизационную камеру, вызывает изменение ионизационного тока. Рабочее изменение тока ионизационной камеры обычно незначительно по сравнению с его номинальным значением, что требует использования компенсационного метода измерения. Компенсирующий сигнал подается второй ионизационной камерой, в которую поступает неослабленное контролируемой средой излучение того же источника. Такое устройство обеспечивает независимость показаний от изменения активности источника, исключает необходимость постоянной корректировки нуля. Как указывалось ранее, температурная компенсация может быть обеспечена при помощи термометра сопротивления, включенного в схему вычислительного устройства.

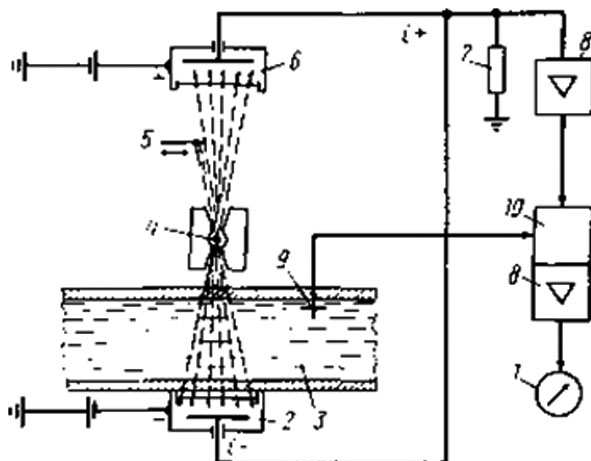


Рисунок 6. Радиоизотопный измеритель плотности: 1 — показывающий прибор; 2 — измерительная ионизационная камера; 3 — контролируемая среда; 4 — источник излучения; 5 — клин для ослабления компенсационного излучения; 6 — компенсационная камера; 7 — сопротивление; 8 — усилитель; 9 — термометр для температурной компенсации; 10 — вычислительный блок температурной компенсации

Чувствительность прибора составляет примерно $0,01 \text{ г/см}^3$, погрешность $\pm 2 \%$. [7]

Измерение плотности бурового раствора с помощью весового и гидростатического методов является затруднительным ввиду применения вязких растворов и возможности наличия шлама и частей упаковки химических реагентов, что может привести к засору чувствительных элементов приборов. Чаще используются поплавковый и радиоизотопный методы. Поплавковый метод позволяет измерять плотность бурового раствора в приемных емкостях, однако при эксплуатации датчиков основанных на нем необходимо постоянное слежение за достоверностью показаний в виду налипания на погруженный металлический поплавок присутствующих частиц глины и хим. реагентов. Данного серьезного недостатка лишен датчик, основанный на радиоизотопном методе измерения, но его применение в приемных емкостях не представляется возможным, поскольку отсутствует постоянный линейный поток жидкости.

Косвенные методы измерения плотности

В особых случаях, например в бумажной промышленности, плотность определяют косвенными методами, в частности путем измерения срезающего усилия.

На рисунке 7 показан принцип действия подобного устройства. Протекающий снизу вверх поток контролируемой среды создает на преобразователе 1 направленное вверх срезающее усилие, передающееся через вялую мембрану 2 на рычаг весового устройства. С помощью пневматического преобразователя положение рычага преобразуется в пневматический унифицированный сигнал. Мембрана 4 обеспечивает компенсацию колебаний давления контролируемой среды.

Известны такие измерители плотности, в которых в качестве естественного параметра, являющегося мерой плотности контролируемой среды, используется крутящий момент, возникающий на вращающейся в ней крыльчатке.

Плотность некоторых чистых жидкостей определяют по диэлектрической проницаемости среды, которая может изменяться в зависимости от температуры и давления. При использовании этого метода контролируемая жидкость непрерывно протекает через цилиндрический конденсатор, емкость которого непрерывно измеряется при помощи компенсационной мостовой схемы. Это устройство позволяет контролировать изменение плотности со среднеквадратичной погрешностью $\pm 0,005\%$ [6, 7].

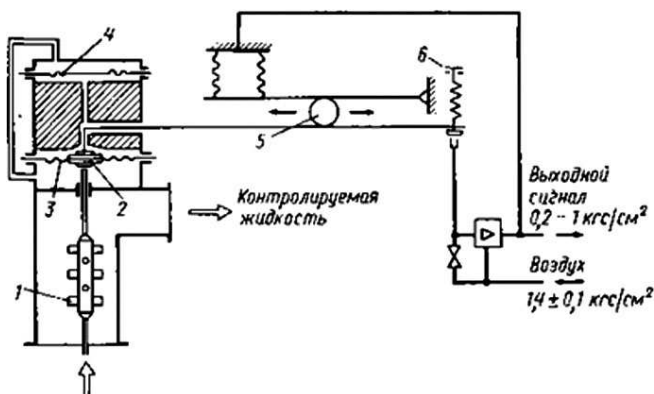


Рисунок 7. Измеритель плотности с чувствительным элементом, воспринимающим срезающее усилие: 1 — чувствительный элемент; 2 — вялая мембрана; 3, 4 — мембраны; 5 — настройка диапазона измерения; 6 — регулировка нуля

В частотных плотномерах в качестве чувствительного элемента используют камертон, частота колебаний которого зависит от плотности окружающей среды. Стабильность характеристик камертонных генераторов обуславливает хорошую воспроизводимость измерений. При возрастании истинной плотности среды собственная частота генератора колебаний уменьшается. Зависимость между собственной частотой камертона и плотностью среды нелинейна. Как показано на рисунке 8, прибор состоит из изготовленного из стали с большой магнитной проницаемостью камертона 2, укрепленного при помощи хвостовика 3 в измерительной камере 1, постоянных магнитов 5 и катушек 4, связанных через усилитель, возбуждающих незатухающие колебания камертона, подаваемые на вторичный прибор. Так как зависимость собственной частоты колебаний камертона нелинейно связана с плотностью среды, то частотная характеристика подлежит линеаризации. С помощью кварцевого эталонного генератора этот сигнал преобразуется в возрастающий с увеличением плотности вторичный частотный сигнал. Информация может выдаваться в аналоговой или дискретной форме. Погрешность определения плотности, достигаемая при измерениях в промышленных условиях, составляет $\pm 1\%$ [4, 8].

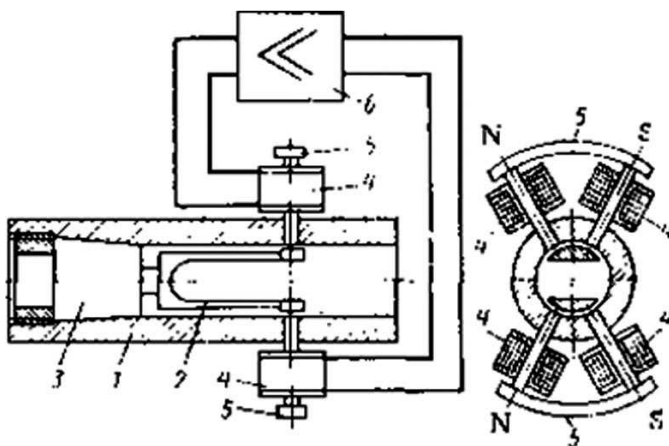


Рисунок 8. Схема камертонного измерителя плотности газов

В настоящий момент развитие косвенных методов измерения позволяет получать все новые способы нахождения плотности буровых растворов. Это позволяет контролировать плотность различных сред там, где раньше это не представлялось возможным, либо вызывало трудности. [1] Так, применение косвенных методов

измерения позволило создать вибрационный датчик плотности буровых растворов, имеющий высокую точность и мобильность, что немаловажно при необходимости его оперативного монтажа. Применение емкостных способов измерения плотности жидкостей также является перспективным направлением разработок в этой области, поскольку применение емкостных измерителей технологических параметров в промышленности показало их высокую точность, неприхотливость, надежность и низкую стоимость.

Список литературы:

1. Измерения в промышленности Справ, изд. В 3-х кн. Кн. 2, Способы измерения и аппаратура: Пер. с нем./Под ред. Профоса П. — 2-е изд., перераб. и доп. — М.: Металлургия, 1990. 384 с.
2. Baumgarten, D., Trapp, W. Dichtebestimmung bei flüssigen, pastösen und pulverigen Erzeugnissen. Hamburg: Reihe Fertigungspraxis Nr 5, 1981. S. 115.
3. Harl H. Kontinuierliche Flüssigkeitsmessung. Braunschweig: Vieweg, 1969. S. 229.
4. Henning J. Neue Meßgeräte zur Erfassung von Erdgasmengen in Verbindung mit Maßumformen für Dichte.: 1970. S. 195.
5. Kohlrausch F. Praktische Physik, Hand 1 und 3. Stuttgart: B. G. Teubner, 1968. S. 535.
6. Kulekow M. V. Geräte und Verfahren der Betriebsmeßtechnik. Berlin: VLB Verlag, Technik, 1969. S. 404.
7. Schink H. Fibel der Verfahrensmesstechnik. Munchen-Wien: R. Oldenbourg, 1968. S. 328.
8. Wolowaski E. Betriebsdichtegeber für reale Hochdruckgase // gwf-Gas/Erdgas 112. 1971. № 03. — S. 334.

СЕКЦИЯ 3.

РАДИОТЕХНИКА И СВЯЗЬ

ИССЛЕДОВАНИЕ КАРТИН РАССЕЯНИЯ В ЗАДНЕЙ ПОЛУСФЕРЕ ПРИ ИЗМЕРЕНИИ ПАРАМЕТРОВ СВЕТОВОДОВ

Андросик Андрей Борисович

*канд. техн. наук, доцент, Государственный открытый Университет,
г. Москва*

Мировицкая Светлана Дмитриевна

*канд. техн. наук, доцент, Государственный открытый Университет,
г. Москва*

E-mail: scotchwood@yandex.ru

Одной из разновидностей методов рассеяния является метод рассеяния в заднюю полусферу [5, с. 53], заключающийся в том, что боковая поверхность волоконного световода (ВС) облучается параллельным пучком света от когерентного источника излучения - ОКГ, падающим перпендикулярно на эту поверхность и анализом информативного сигнала в задней полусфере по особым точкам интенсивности картин рассеяния. В работе рассмотрено формирование картин рассеяния в задней полусфере от однородных ВС, двухслойных ВС и ВС эллиптического поперечного сечения.

Исследование поведения картин рассеяния в задней полусфере при измерении геометрооптических параметров однородных ВС. Если E — угол падения луча в данной точке, E' — угол рефракции (рис. 1), то луч поворачивается на угол $E - E'$ при попадании в ВС. При отражении от задней поверхности он претерпевает дальнейшее вращение на $(\pi - 2E')$, а на выходе из ВС — еще одно вращение на угол $(E - E')$. Общее отклонение луча, таким образом, имеет вид:

$$\varphi = \pi + 2E - 4E'. \quad (1)$$

Для вычисления минимума отклонения берется производная $d\varphi/dE$ и приравнивается нулю. С учетом того, что

$$\sin E' = \frac{n_0 \sin E}{n_1},$$

угол падения, соответствующий минимуму отклонения:

$$\cos E_m = [(n_1^2 - 1)/3]^{1/2},$$

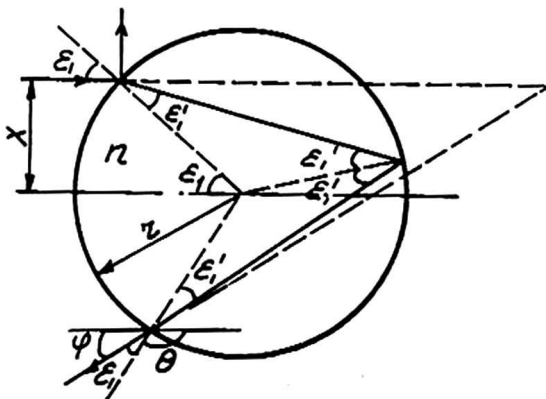


Рисунок 1. Формирование картины рассеяния в задней полусфере

Это значение E соответствует стационарному минимуму, который определяется при взятии второй производной уравнения (1) $d^2\varphi/dE^2$ при условии, что она положительна. Учитывая, что $E_m = \arcsin(x/r)$, можно найти зависимость $\varphi = f(x/r)$. Результаты исследования при x/r , изменяющемся от 0 до 1 с шагом 0,1, показаны на рис.2 (здесь 1 — при $n=1,8$; 2 — $n=1,7$; 3 — $n=1,6$; 4 — $n=1,5$; 5 — $n=1,4$; 6 — $n=1,3$; 7 — $n=1,2$; 8 — $n=1,1$). Анализ этих кривых показывает, что с ростом отношения x/r величина угла φ пропорционально уменьшается при $n=1,1-1,7$. При $n>1,7$ характер кривой несколько изменяется: величина угла сперва уменьшается до $x/r \approx 0,5$, а затем монотонно возрастает.

Далее, зная расстояние L до плоскости регистрации и h — расстояние до точки, соответствующей углу θ в задней полусфере, можно записать:

$$h = L \operatorname{tg} \theta_m.$$

Как указывается в [2, с. 12], для большинства практических случаев имеет место: $n = 1,5 + \delta$,

где δ — малое отклонение величины показателя преломления от 1,5. Тогда, подставив это выражение в уравнение

$$\theta_m = 4 \arcsin \left[\frac{2}{n\sqrt{3}} \left(1 - \frac{n^2}{4} \right)^{\frac{1}{2}} \right] - 2 \arcsin \left[\frac{2}{\sqrt{3}} \left(1 - \frac{n^2}{4} \right)^{\frac{1}{2}} \right],$$

получаем

$$\theta_m = 4 \arcsin \left[\frac{2}{(1,5 + \delta)\sqrt{3}} \left(1 - \frac{(1,5 + \delta)^2}{4} \right)^{\frac{1}{2}} \right] - 2 \arcsin \left[\frac{2}{\sqrt{3}} \left(1 - \frac{(1,5 + \delta)^2}{4} \right)^{\frac{1}{2}} \right].$$

В результате можно записать:

$$\theta_m = 22,84 - \delta 1,58 + \delta^2 0,192. \quad (2)$$

На рис. 3 показан график зависимости $h/L=f(\delta)$, полученный при подстановке функции

$$\theta_m = \arctg(h/L)$$

в уравнение (2). Тогда

$$h/L = \tg(22,84 - \delta 1,58 + \delta^2 0,192).$$

Итак, с уменьшением отношения расстояния от центра картин до граничной точки и расстояния от плоскости регистрации до ВС, величина δ также убывает.

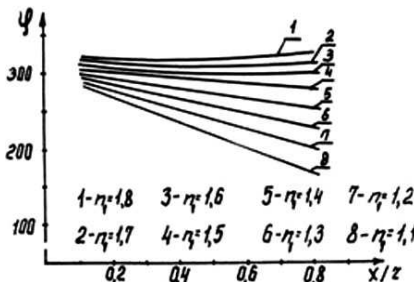


Рисунок 2. Графики зависимости $\varphi=f(x/z)$

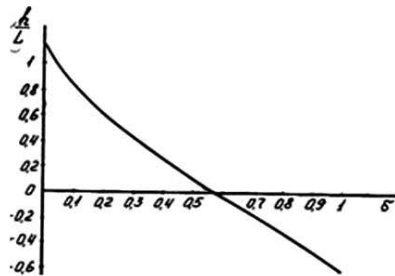


Рисунок 3. График зависимости $h/L=f(\delta)$

При определении диаметра ВС этим способом рассматривается интерференция парциальных лучей [3, с. 21], формируемая в задней полусфере (рис. 4). Пусть два луча АС и НI, выходящие из одного источника, падают на ВС под углами E_1 и E_2 , соответственно. Луч АС после отклонения от передней поверхности и отражения в точке D задней поверхности, выходит в точке E. Здесь не учитывается часть лучей, сразу отразившаяся в точке С и которая отражается в точке E.

Луч HI отклоняется в точке I на передней поверхности под углом E_1 ; не учитывается часть HI , которая входит в BC . Если

$$E_2 = \frac{\pi - \varphi}{2} = 2E' - E,$$

то два рефрагированных луча интерферируют между собой. Результирующая дифракционно-интерференционная картина от многих таких групп лучей дает усиление картины рассеяния в задней полусфере.

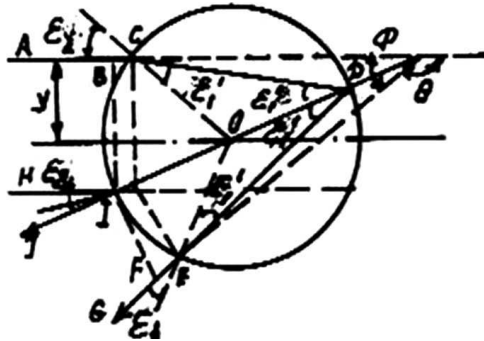


Рисунок 4. Картина интерференции парциальных лучей, формируемая в задней полусфере

Разность длин путей двух интерферирующих лучей $ACDEG$ и HI равна

$$BC + CD + DE + FE = 2(BC + CD).$$

Оптические длины путей вне и внутри BC :

$$BC = r [\cos(2E'_1 - E_1) - \cos E_1]$$

и

$$CD = 2nr \cos E'_1.$$

Общая разность длин путей, таким образом, имеет вид:

$$S = 4nr \cos E'_1 - 4r \sin E_1 \sin(E'_1 - E_1) = 4r \left[\left(1 - \frac{\sin^2 E_1}{n^2} \right)^{1/2} \left(n + \frac{\sin^2 E_1}{n} \right) - \frac{\sin^2 E_1 \cos E_1}{n^2} \right] \approx 4r \left[n + \frac{\Phi^2}{16(1-n/2)} \right].$$

Соответствующий фазовый сдвиг

$$\Phi = \frac{2\pi S}{\lambda} = \frac{8\pi r}{\lambda} \left[n + \frac{\Phi^2}{16(1-n/2)} \right].$$

Приравняв разность фаз между двумя соседними точками интерференции к 2π , получается выражение для r в зависимости от расстояния между двумя соответствующими максимума или минимумами. Таким образом

$$\Phi_1 = \left[\Phi_2^2 + \frac{4\lambda}{r} \left(1 - \frac{n}{2} \right) \right]^{1/2}.$$

В зависимости от измеренных параметров h и L величина Δh имеет вид

$$\Delta h = \frac{2\lambda}{r} \frac{L}{h} \left(1 - n/2 \right).$$

Модельные исследования были проведены при $\lambda=0,6328$ мкм, $h=100—24000$ мкм, с шагом 100 мкм, $L=500$ мкм; $n=1,45; 1,50; 1,55$; $r=100$ мкм; 50 мкм; 10 мкм. Кривые зависимости $\Delta h=f(h)$ при $n=1,45$ и трех значениях $r=10$ мкм (1); 50 мкм (2); 100 мкм (3) показаны на рис.5, а, б (а — $L=500$ мкм, б — $L=1000$ мкм), а кривые $\Delta h=f(h)$ при $r=100$ и трех значениях показателя преломления $n=1,45$ (1); 1,50 (2); 1,55 (3) — на рис. 6, а, б (а - $L=500$ мкм, б — $L=1000$ мкм).

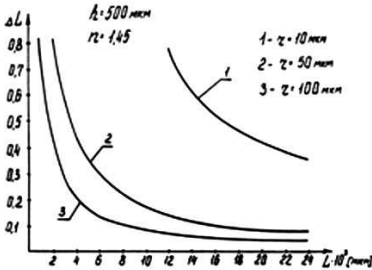


Рисунок 5, а. Кривые зависимости $\Delta h=f(h)$, $n=1,45$, $L=500$ мкм

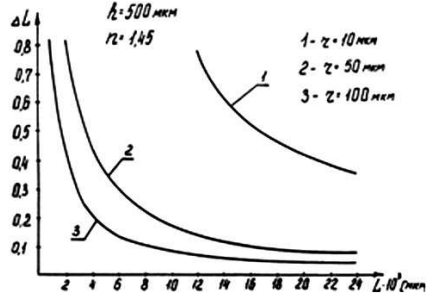


Рисунок 5, б. Кривые зависимости $\Delta h=f(h)$, $n=1,45$, $L=1000$ мкм

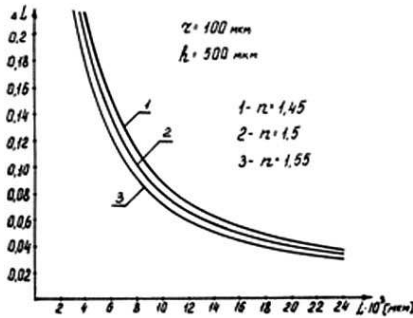


Рисунок 6, а. Кривые зависимости $\Delta h=f(h)$, $r=100$ мкм, $L=500$ мкм

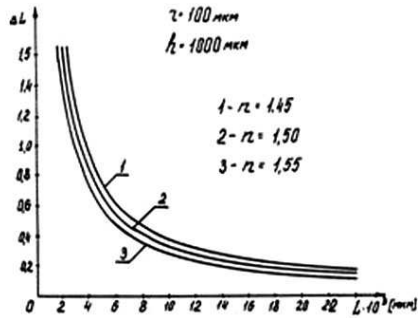


Рисунок 6, б. Кривые зависимости $\Delta h=f(h)$, $r=100$ мкм, $L=1000$ мкм

Особенности поведения картин рассеяния в задней полусфере на двухслойных световодах. Пусть на ВС, состоящий из сердцевины радиуса r_2 с показателем преломления n_2 и оболочки радиуса r_1 с показателем преломления n_1 падает параллельный облучающий пучок. Тогда задача распадается на три случая (рис. 7):

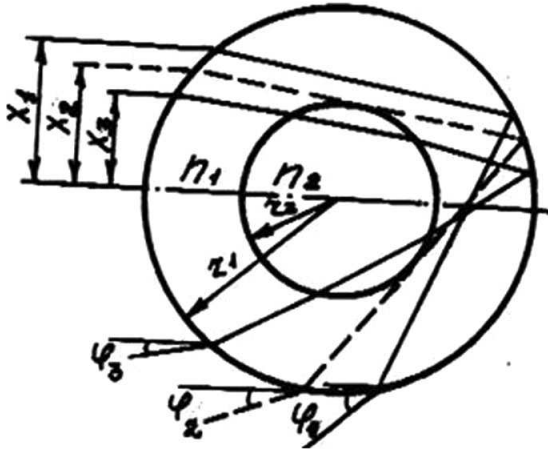


Рисунок 7. Формирование трех типов лучей

1. Прохождение светового луча только через оболочку

$$\varphi_1 = 4 \arcsin\left(\frac{\xi}{n_1}\right) - 2 \arcsin(\xi), \quad (3)$$

где $n_1 \left(\frac{r_2}{r_1}\right) \ll \xi \leq 1$, ξ — координата точки внутреннего отражения,

нормированная к диаметру ($\xi = x/r_2$).

2. Касание светового луча сердцевины и отражение на границе между обратной стороной оболочки и воздухом

$$\varphi_2 = 4 \arcsin\left(\frac{r_2}{r_1}\right) - 2 \arcsin\left(n \frac{r_2}{r_1}\right),$$

где

$$\xi = n_1 \frac{r_2}{r_1}.$$

3. Прохождение светового луча через сердцевину и отражение на границе между воздухом и обратной стороной оболочки

$$\varphi_3 = 4 \arcsin\left(\frac{\xi}{n_1}\right) - 2 \arcsin(\xi) - 4 \left[\arcsin\left(\frac{\xi}{n_1 r_2 / r_1}\right) - \arcsin\left(\frac{\xi}{n_2 r_2 / r_1}\right) \right].$$

График зависимости $\varphi = f(x = \xi)$ показан на рис. 8.

Распределение интенсивности излучения записывается в виде

$$I = \frac{1}{d\varphi/d\xi},$$

отсюда, при подстановке в уравнение (3) значения $d\varphi_1/d\xi = 0$, можно получить величину максимального угла $\varphi_1 \max$, а именно:

$$\frac{d\varphi_1}{d\xi} = \frac{1}{n_1} \frac{4}{n_1 \sqrt{1 - \xi^2/n_1^2}} - \frac{2}{\sqrt{1 - \xi^2}},$$

$$\frac{d\varphi_3}{d\xi} = \frac{1}{n_1} \frac{4}{\sqrt{1 - \xi^2/n_1^2}} - \frac{2}{\sqrt{1 - \xi^2}} - \frac{4}{(n_1 r_2 / r_1) \sqrt{1 - \xi^2/(n_1 r_2 / r_1)^2}} - \frac{1}{(n_2 r_2 / r_1) \sqrt{1 - \xi^2/(n_2 r_2 / r_1)^2}}.$$

В случае наиболее характерного луча (дающего максимальный вклад в картину рассеяния в заднюю полусферу) схема рефракции имеет вид, показанный на рис. 9. Тогда угол рефракции записывается как

$$\varphi = 4(E_2' - E_2 + E_1') - 2E_1, \quad (4)$$

где

$$E_1 = \arcsin(x/r_1),$$

$$E_1' = \arcsin[x/(n_1 r_1)],$$

$$E_2 = \arcsin[x/(n_1 r_2)],$$

$$E_2' = \arcsin[x/(n_2 r_2)].$$

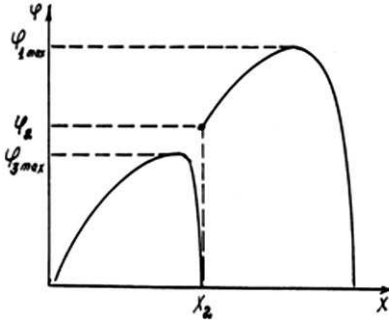


Рисунок 8. График зависимости $\varphi = f(x = \xi)$

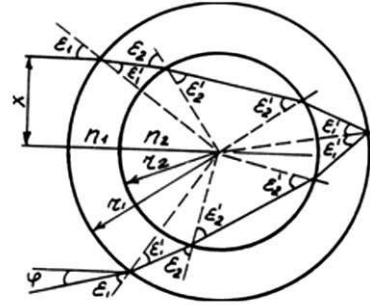


Рисунок 9. Картина рассеяния в заднюю полусферу от характеристического луча

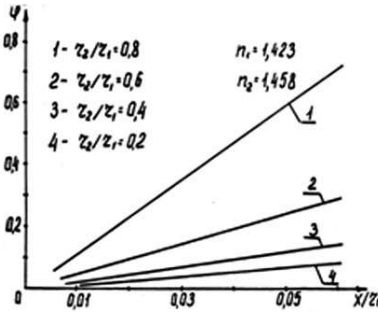


Рисунок 10,а. Кривые зависимости $\varphi = f(x/r_1)$, $n_1=1,423$, $n_2=1,458$

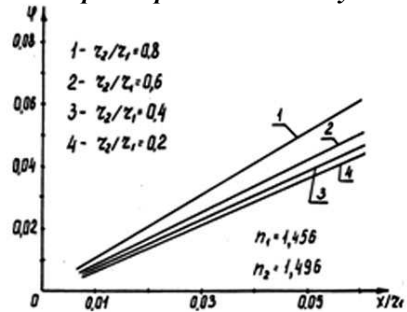


Рисунок 10,б. Кривые зависимости $\varphi = f(x/r_1)$, $n_1=1,456$, $n_2=1,496$

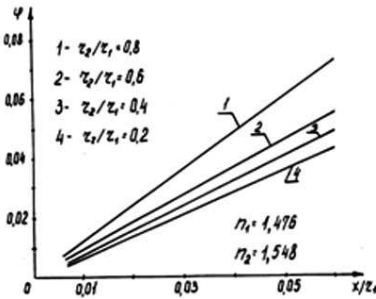


Рисунок 10,в. Кривые зависимости $\varphi = f(x/r_1)$, $n_1=1,476$, $n_2=1,548$

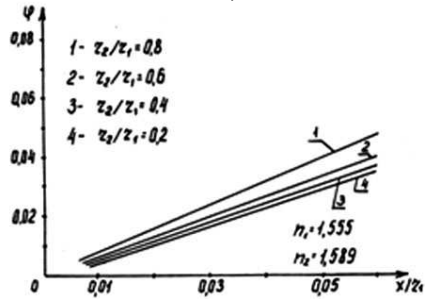


Рисунок 10,г. Кривые зависимости $\varphi = f(x/r_1)$, $n_1=1,555$, $n_2=1,583$

На рис. 10, а, б, в, г и 11, а, б, в, г показаны кривые зависимости $\varphi=f(x/r_1)$ и $\varphi=f(r_2/r_1)$ при $n_1=1,423$, $n_2=1,458$ (а); $n_1=1,456$, $n_2=1,496$ (б); $n_1=1,476$, $n_2=1,548$ (в); $n_1=1,456$, $n_2=1,496$ (б); $n_1=1,476$, $n_2=1,548$ (в); $n_1=1,555$, $n_2=1,583$ (г). На рис. 10 обозначено: 1- $r_2/r_1=0,8$; 2- $r_2/r_1=0,6$; 3- $r_2/r_1=0,4$; 4- $r_2/r_1=0,2$, а на рис.11: 1- $x/r_1=0,08$; 2- $x/r_1=0,07$; 3- $x/r_1=0,06$; 4- $x/r_1=0,05$; 5- $x/r_1=0,04$; 6- $x/r_1=0,03$; 7- $x/r_1=0,02$; 8- $x/r_1=0,01$. Эти кривые позволяют проанализировать поведение зависимости угла рефракции при изменении отношений диаметра сердцевины $2r_2$ к диаметру оболочки $2r_1$, а также зависимости координаты точки входа луча в сердцевину x к радиусу сердцевины r_2 при различных показателях преломления сердцевины и оболочки.

Систематизация всех лучей, рефрагирующих на двухслойном ВС и попадающих в заднюю полусферу (рис. 12), позволяет выписать общие выражения для трех типов лучей, представленные в табл. 1.

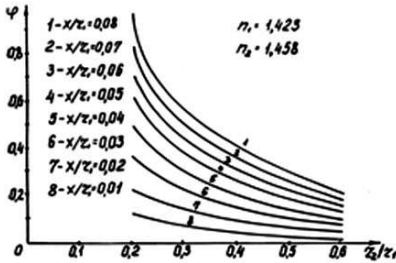


Рисунок 11, а. Кривые зависимости $\varphi=f(r_2/r_1)$, $n_1=1,423$, $n_2=1,458$

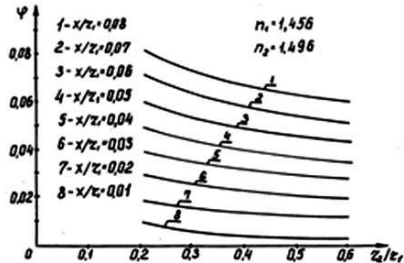


Рисунок 11, б. Кривые зависимости $\varphi=f(r_2/r_1)$, $n_1=1,456$, $n_2=1,496$

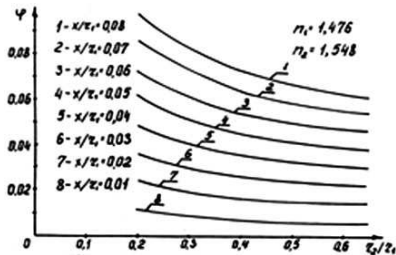


Рисунок 11, в. Кривые зависимости $\varphi=f(r_2/r_1)$, $n_1=1,476$, $n_2=1,548$

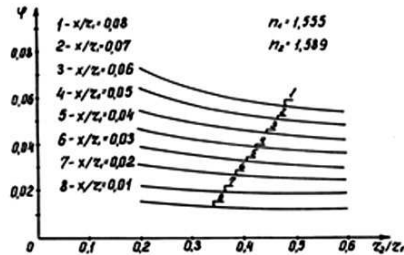


Рисунок 11, г. Кривые зависимости $\varphi=f(r_2/r_1)$, $n_1=1,555$, $n_2=1,583$

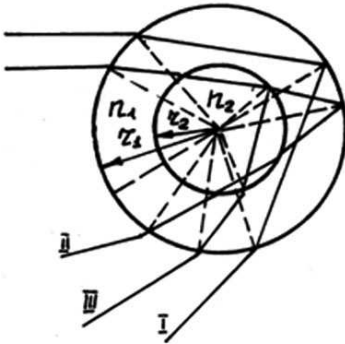


Рисунок 12. Систематизация лучей, рефразирующих на двухслойном ВС

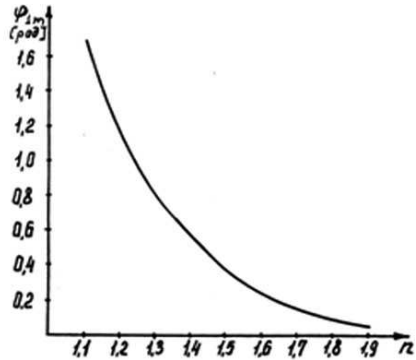


Рисунок 13, а. Зависимость критического угла φ_1 от показателя преломления

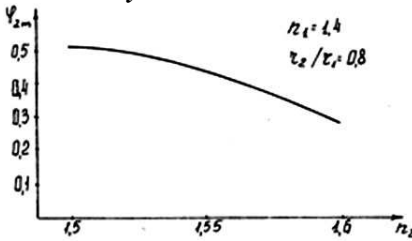


Рисунок 13, б. Зависимость критического угла от показателя преломления

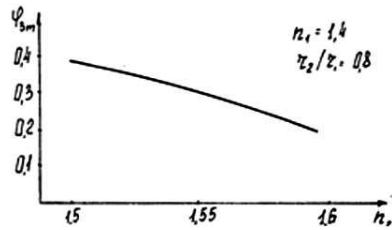


Рисунок 13, в. Зависимость критического угла φ_3 от показателя преломления

Кривые, полученные по формулам, представленным в таблице для трех основных типов лучей, даны на рис. 13, а, б, в. Анализ кривых показывает, что с ростом показателя преломления оболочки величина угла φ_1 убывает (рис. 13, а), с ростом показателя преломления сердцевины при постоянном показателе преломления оболочки φ_2 также убывает (рис. 13, б). Зависимости $\varphi_2 = f(r_2/r_1)$ и $\varphi_3 = f(r_2/r_1)$ показаны на рис. 14.

Итак, зная углы отклонения φ_1 , φ_2 и φ_3 и радиусы оболочки и сердцевины, можно определить оптические характеристики ВС — показатели преломления n_1 и n_2 .

Исследование метода измерения ВС эллиптического сечения по картине рассеяния в заднюю полусферу. Несвершенство технологии изготовления световодов и заготовок не всегда позволяют выполнить их строго кругового сечения [1, с. 15]. Кроме того,

выпускаемые в настоящее время ВС для сохранения азимута поляризации имеют также некруговую форму поперечного сечения [8, с. 75]. Поэтому важной задачей, является измерение показателя преломления ВС эллиптического поперечного сечения.

Оптическая схема измерения ВС эллиптического поперечного сечения [7, с. 64] показана на рис. 15. Излучение от лазера 1 разделяется на два взаимно перпендикулярных пучка с помощью волоконно-оптического разветвителя 2 и направляется перпендикулярно большой **a** и малой **b** осям ВС.

Таблица 1

Значения характеристических углов для трех основных типов лучей

№ луча	Угол отклонения	Максимальный угол рассеяния назад $\varphi_m^* = \pi - \varphi_m$
I	$\pi + 2E_1 - 4E_1'$	$4 \arcsin \left[\frac{2}{n_1 \sqrt{3}} \left(1 - \frac{n_1^2}{4} \right)^{1/2} \right] - 2 \arcsin \left[\frac{2}{\sqrt{3}} \left(1 - \frac{n_1^2}{4} \right)^{1/2} \right]$
II	$\pi + 2E_1 - 4E_1'^2 + 4E_2 - 4E_2'$	$4 \arccos \left\{ \frac{2}{n_2 \sqrt{3}} \left[n_2^2 - \left(\frac{r_1}{r_2} \right)^2 \right]^{1/2} \right\} - 2 \arccos \left\{ \frac{1}{\sqrt{3}} \left[\left(\frac{n_2 r_2}{r_1} \right)^2 - 1 \right]^{1/2} \right\} -$ $4 \arccos \left\{ \frac{1}{n_1} \left[n_1^2 + \frac{1}{3} n_2^2 - \frac{4}{3} \left(\frac{r_1}{r_2} \right)^2 \right]^{1/2} \right\} + 4 \arccos \left\{ \frac{1}{n_1} \left[n_1^2 + \frac{1}{3} \left(\frac{n_2 r_2}{r_1} \right)^2 - \frac{4}{3} \right]^{1/2} \right\}$
III	$\pi + E_1 - 4E_1'^2 + 2E_2 - 2E_2'$	$4 \arccos \left\{ \frac{2}{n_2 \sqrt{3}} \left[n_2^2 - \left(\frac{r_1}{r_2} \right)^2 \right]^{1/2} \right\} - 2 \arccos \left\{ \frac{1}{\sqrt{3}} \left[\left(\frac{n_2 r_2}{r_1} \right)^2 - 1 \right]^{1/2} \right\} -$ $2 \arccos \left\{ \frac{1}{n_1} \left[n_1^2 + \frac{1}{3} n_2^2 - \frac{4}{3} \left(\frac{r_1}{r_2} \right)^2 \right]^{1/2} \right\} + 2 \arccos \left\{ \frac{1}{n_1} \left[n_1^2 + \frac{1}{3} \left(\frac{n_2 r_2}{r_1} \right)^2 - \frac{4}{3} \right]^{1/2} \right\}$

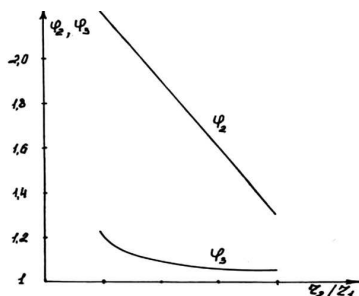


Рисунок 14. Зависимости $\varphi_2 = f(r_2 / r_1)$, $\varphi_3 = f(r_2 / r_1)$

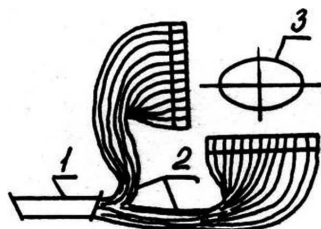


Рисунок 15. Оптическая схема измерения ВС эллиптического поперечного сечения

Для кругового однородного световода угол максимального отклонения в задней полусфере связан с показателем преломления среды n_1 следующим выражением

$$\varphi_0(n) = 4 \arcsin \sqrt{\frac{4 - n_1^2}{3n_1^2}} - 2 \arcsin \sqrt{\frac{4 - n_1^2}{3}}, \quad (5)$$

которое получается при подстановке уравнения [4, с. 32]

$$\cos E_1' = \left[(n_1' - 1) / 3 \right]^{1/2}$$

в уравнение

$$\varphi_0 = 4E_1' - 2E_1.$$

При углах, превышающих $\varphi_0(n)$, лучи рассеяния не существуют. Таким образом, вся картина рассеяния в задней полусфере заключена в интервале

$$-\varphi_0(n) \leq \varphi \leq \varphi_0(n),$$

Поэтому по положению угла максимального отклонения можно определить показатель преломления световода.

В случае, если ВС имеет эллиптическое поперечное сечение, то угол максимального отклонения является функцией эллиптичности e^2 и показателя преломления n_1 , а именно:

$$e^2 = 1 - (b/a)^2,$$

где b — малая ось ВС, a — большая ось ВС.

Наиболее широко распространены ВС с показателями преломления $n=1,4$ — $1,5$. Результаты измерений углов φ_1 и φ_2 для двух взаимно перпендикулярных осей, полученных для этих показателей преломления, показаны на рис. 16, а, б, в, а— $n=1,40$, б— $n=1,45$, в— $n=1,50$. Таким образом, углы φ_1 и φ_2 имеют линейную зависимость от эллиптичности e , как видно из рис.16, практически не зависят от показателя преломления n , т. е.

$$\varphi_1 = \varphi_0(n) + c_1 e^2, \quad (6)$$

$$\varphi_2 = \varphi_0(n) + c_2 e^2, \quad (7)$$

при $c_1=64,0$; $c_2=-77,0$ [5, с. 52], а $\varphi_0(n)$ вычисляется по формуле (5).

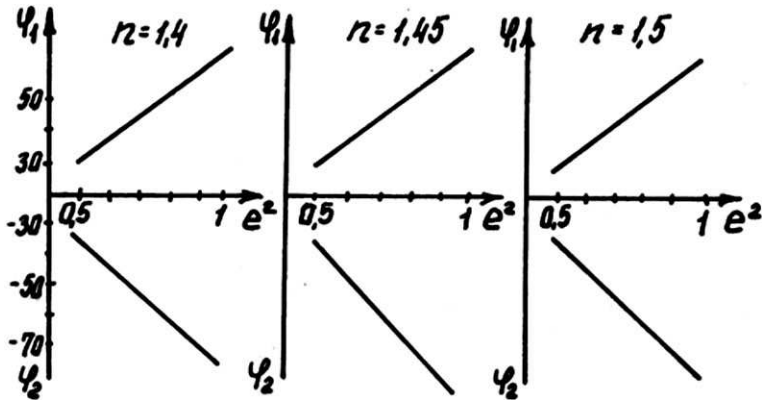


Рисунок 16. Результаты измерений углов φ_1 и φ_2 для двух взаимно перпендикулярных осей

Для измерения показателя преломления n и эллиптичности однородного ВС, достаточно измерить углы φ_1 и φ_2 , а затем вычислить $\varphi_0(n)$. Для этого уравнения (6) и (7) записываются в следующем виде:

$$e^2 = \frac{\varphi_1 - \varphi_0(n)}{c_1}, \quad (8)$$

$$e^2 = \frac{\varphi_2 - \varphi_0(n)}{c_2}, \quad (9)$$

Приравняв левую и правую часть уравнений (8) и (9), получается

$$\frac{\varphi_1 - \varphi_0(n)}{c_1} = \frac{\varphi_2 - \varphi_0(n)}{c_2},$$

откуда

$$\varphi_0(n) = \frac{c_1 \varphi_2 - c_2 \varphi_1}{c_1 - c_2}.$$

Зная величину $\varphi_0(n)$, показатель преломления n_1 можно определить по формуле (5).

Итак, выше были проанализированы особенности модификации рефракционного метода рассеяния в заднюю полусферу, показана область применимости метода и возможность использования для измерения параметров ВС эллиптического поперечного сечения.

Список литературы:

1. Андросик А. Б., Воробьев С. А., Мировицкая С. Д. Моделирование волоконных световодов рефракционным методом. — Труды Междунар. научно-практ. конф. «Математика и информационные технологии в современном мире», 2011, С. 53—64
2. Андросик А. Б., Мировицкая С. Д., Фатеева Г. В. Особенности рассеяния на однослойных световодах. — Измерительная техника, 1991, № 6.
3. Андросик А. Б., Касимова Л. Б., Мировицкая С. Д. О повышении точности вычисления угла рефракции при измерении обобщенно-эллиптического профиля показателя преломления оптического волокна. — Оптика и спектроскопия, 1991, т. 70, вып. 1.
4. Андросик А. Б., Касимова Л. Б., Мировицкая С. Д. Об одном способе восстановления профиля показателя преломления световода. — Измерительная техника, 1991, № 6.
5. Андросик А. Б., Мировицкая С. Д., Фатеева Г. В. Модифицированный рефракционно-интерференционный метод расчета геометро-оптических параметров световодов.- Измерительная техника, 1995, № 4.
6. Андросик А. Б., Мировицкая С. Д., Фатеева Г. В. Особенности рассеяния на однослойных световодах. — Измерительная техника, 1991, № 6.
7. Лазарев Л. П., Мировицкая С. Д. Контроль геометрических и оптических параметров волокон. — М.: Радио и связь, 1988, 280 с.
8. Лазарев Л. П., Мировицкая С. Д. Исследование оптических схем реализации измерителей геометрических характеристик оптических волокон и капилляров. — ЦНИИТЭИприборостр., Измерения, контроль, автоматизация 1986, № 3, 15 с.
9. Okamoto, K., Fundamentals of Optical Waveguides, Academic Press, San Diego, 2000.

СПОСОБ ОБНАРУЖЕНИЯ И АНАЛИЗА СИГНАЛОВ СО СКАЧКООБРАЗНЫМ ИЗМЕНЕНИЕМ ЧАСТОТЫ

Берлёв Сергей Викторович

преподаватель, ВИ МВД РФ, г. Воронеж

E-mail: avenismail@mail.ru

Шерстюков Сергей Анатольевич

профессор, канд. техн. наук, доцент ВИ МВД РФ, г. Воронеж

E-mail: sheseran@mail.com

В ряде практических задач в области проектирования устройств приема и обработки сигналов возникает необходимость в обнаружении и анализе источников радиоизлучения, работающих в режиме многостанционного доступа с частотным разделением и одинаковым для всех каналов скачкообразным изменением частоты (МДЧР-СИЧ). Сложность обнаружения и анализа таких каналов обусловлена априорной неопределенностью структуры СИЧ, характеризующей порядок скачкообразной смены частот группового сигнала.

Вопросам обнаружения и анализа подобных сигналов посвящено немало публикаций [1, 3], в которых авторами для этих целей предлагаются способы, основанные на параллельном и параллельно-последовательном анализе сигналов с СИЧ во всем частотном диапазоне его существования, что с точки зрения технической реализации может быть отнесено к их недостатку.

В данной статье предложен один из возможных способов обнаружения и анализа работающих каналов, организованных между станциями, работающими в режиме многостанционного доступа с частотным разделением каналов (МДЧР), каждый из которых перестраивается по одному и тому же закону с кратным смещением по частоте, отличающийся от известных сравнительно простотой реализации, достигаемой за счет снятия модулирующей псевдослучайной последовательности.

Возможность реализации этого способа основана на объективно существующей в сигнале периодичности возможных частот перестраиваемых по псевдослучайному закону, что позволяет использовать при обнаружении и анализе подобных сигналов методы теории линейных дискретных систем [4].

Обнаружение и анализ сигналов с неизвестной временной структурой, как правило, проводится в спектральной области. Поэтому, спектр Фурье-преобразованного сигнала МДЧР-СИЧ $x(t)$ может быть представлен в следующем виде [2]:

$$X(j\omega) = X(j\omega_{нач} + j\Omega + jn\Delta\Omega), \quad (1)$$

$$\Omega[0; \Delta\Omega], n = 0, 1, 2, \dots, k-1,$$

$$\Delta\Omega = 2\pi\Delta F,$$

где: ω — частота сигнала в диапазоне СИЧ;

$\omega_{нач}$ — начальная частота диапазона СИЧ;

Ω — частотный диапазон каналов с МДРЧ;

n — параметр закона СИЧ, характеризующий порядок перестройки рабочих частот;

k — количество возможных рабочих частот перестройки;

ΔF — ширина спектра группового сигнала.

Исходя из записанного соотношения (1) выражение для спектра Фурье-преобразованного аналогового сигнала в частотном диапазоне каналов с МДЧР (Ω) примет вид:

$$X(j\Omega) = X(j\omega - j\omega_{нач} - jn\Delta\Omega) \quad (2)$$

Пример представления сигналов в виде (1) и (2) приведен на рис. 1

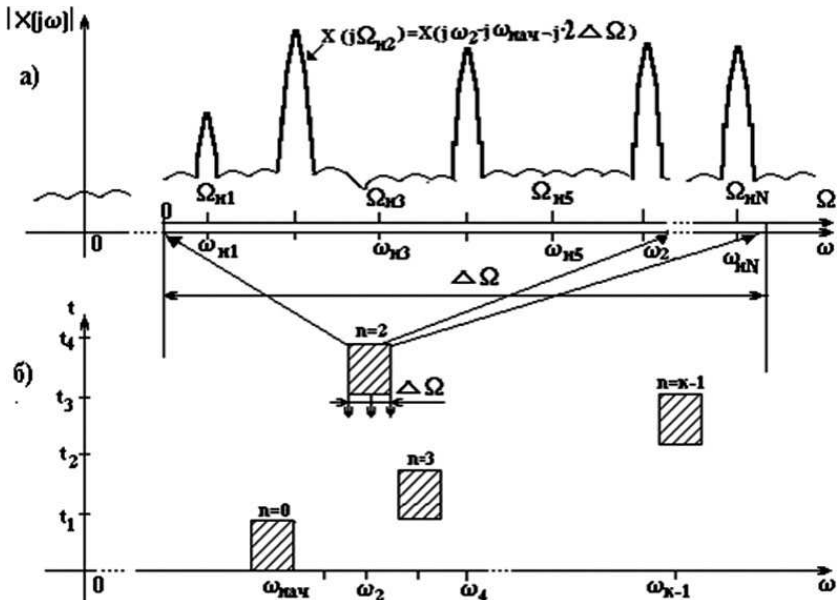


Рисунок 1 Представление сигнала МДЧР-СИЧ:

а) модуль комплексной спектральной плотности сигнала при $\omega > 0$;

б) частотно-временная матрица сигнала.

Сложность получения $X(j\Omega)$ для обнаружения и анализа работающих в нем каналов определяется тем, что параметр n , определяемый законом СИЧ, априорно неизвестен. Исключение влияния параметра n достигается за счет преобразования начальной частоты диапазона СИЧ ($\omega_{нач}$) и дискретизации аналогового сигнала (2). Частота дискретизации (ω_c) выбирается из удовлетворения условия

$$\omega_T = 2 \cdot \Delta\Omega. \quad (3)$$

Начальная частота диапазона СИЧ ($\omega_{нач}$) преобразуется к начальной частоте диапазона промежуточной частоты ($\omega_{пч}$), выбираемой из условия [4]:

$$\omega_{пч} = r \cdot \omega_T, \quad (4)$$

где r — целое число.

В результате этих преобразований аналоговый сигнал (2) в дискретной форме примет следующий вид [2]:

$$\begin{aligned} \tilde{O}_\delta(j\Omega) &= 1/\delta \cdot \sum_{m=-\infty}^{\infty} \tilde{O}(j\omega - jr\omega_c - j\frac{n}{2}\omega_c - jm\omega_c) = \\ &= 1/T \cdot \sum_{m=-\infty}^{\infty} X(j\omega - j\left[\frac{2r+n}{2} + m\right]\omega_T) \end{aligned} \quad (5)$$

Графическое представление сигнала в виде (5) показано на рис.2, 3.

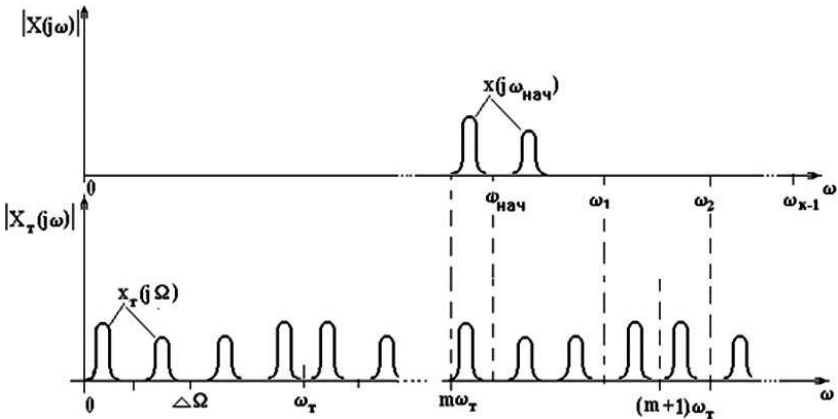


Рисунок 2 Представление сигнала в дискретной форме при $r=1$ и $n=0$ в области $\omega \gg 0$

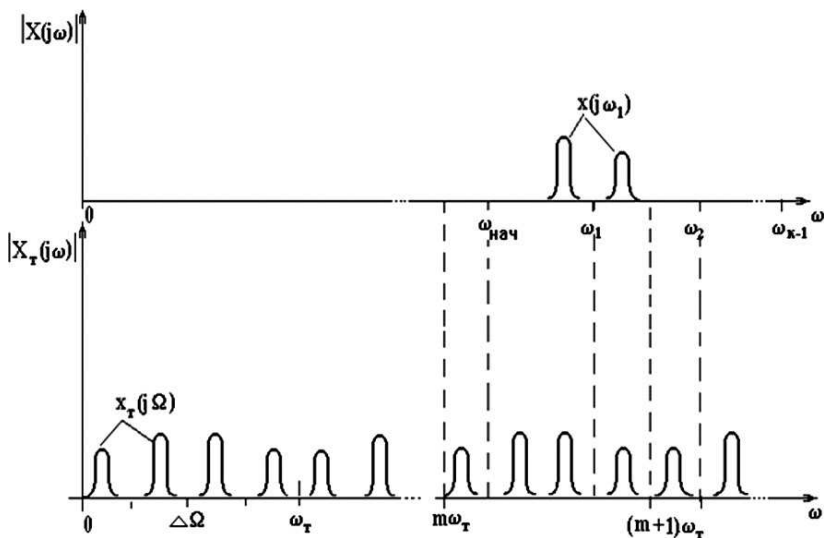


Рисунок 3 Представление сигнала в дискретной форме при $r=1$ и $n=1$ в области $\omega \gg 0$

Анализ выражения (5) показывает:

1. Существенными различиями между аналоговыми и дискретными системами является наличие у последних периодичности по частоте с интервалом ω_T и переноса сигнала симметрично относительно частоты $m \cdot \omega_T / 2$ на интервале $[0; \omega_T] + \omega_T \cdot m$.

2. При проведении распознавания работающих каналов по полученным таким образом дискретным отсчетам сигнала независимо от того, каким будет параметр n , сигнал всегда окажется в диапазоне $[0; \omega_T/2]$.

3. Если параметр n будет принимать значения $n=1,3,5\dots$ (нечетные), выражение $(2r + n)/2$ не будет целым и сигнал попадет в область частот $[\omega_T/2; \omega_T]$. Однако, в соответствии со свойством симметричности дискретных систем, сигнал расположится в области частот $[0; \omega_T/2]$ в частотно-инвертированном виде.

В связи с тем, что процесс обнаружения и анализа происходит на фоне шумов, оценим изменение соотношения сигнал-шум после проведения преобразования (5). Мощность шумов находящихся в полосе частот СИЧ $k\Delta\Omega$ определяется дисперсией их мгновенного значения $-\delta^2$. Поэтому, при исходном соотношении сигнал-шум в

любом из каналов $-E_s / (\delta^2 / k\Delta\Omega)$, соотношение после преобразования уменьшится и составит величину

$$E_s / (\delta^2 / \Delta\Omega). \quad (6)$$

Это обусловлено уменьшением полосы частот шумов до величины $-\Delta\Omega$ и независимостью дисперсии δ^2 от частоты дискретизации (ω_s). Однако при использовании для обнаружения сигналов с априорно неизвестными параметрами (с неизвестной амплитудой и фазой) существующих методов, к числу которых относятся методы некогерентного накопления, взаимно- и автокорреляционной обработки сигналов, увеличение соотношения сигнал/шум может быть обеспечено за счет увеличения времени обнаружения и анализа рассматриваемых сигналов.

Выводы

1. В статье разработан способ обнаружения и распознавания работающих каналов в многоканальном с частотным уплотнением сигнале с СИЧ. В отличие от существующих, предложенный способ отличается простотой технической реализации.

2. Область применения способа может быть расширена на любые линии связи (радиорелейной, тропосферной, сотовой и т. д.), использующие подобные сигналы с СИЧ.

Список литературы:

1. Варакин Л. Е. Системы связи с шумоподобными сигналами. М.: «Радио и связь», 2002. — 364 с.
2. Рабинер Л., Гоулд В., Теория и применение цифровой обработки сигналов.— М.: Мир, 1999. — 848 с.
3. Тузов Г. И., Урядников Ю. С., Прытков В. И. и др. Адресные системы управления и связи. Вопросы оптимизации. Под ред. Г. И. Тузова, М.: «Радио и связь», 2003. — 384 с.
4. Цифровой процессор обработки сигналов TMS 32010 и его применение. Под ред. Линна А. А. — С.-Пб. ВАС, 2001. — 296 с.

ОЦЕНКА ЭФФЕКТИВНОСТИ РАЗЛИЧНЫХ МЕТОДОВ ПОВТОРНОГО ИСПОЛЬЗОВАНИЯ ЧАСТОТ В СЕТЯХ LTE

Божко Алексей Александрович

*руководитель службы развития сети, ИООО «Йота Бел»,
г. Минск, Беларусь*

E-mail: abozhko@yotateam.com

При планировании сетей LTE одной из важнейших целей является обеспечение максимальной емкости сети или её пропускной способности. Пропускная способность может быть определена через спектральную эффективность, которая в свою очередь определяется используемой модуляционно-кодовой схемой, выбираемой по результатам измерения отношения сигнал/(шум+интерференция) (далее — SINR). Для сетей с частотным дуплексом FDD средняя пропускная способность соты может быть получена путем прямого умножения ширины канала на спектральную эффективность.

В [1, с. 73] приведены зависимости значений спектральной эффективности от величины SINR.

Для повышения пропускной способности сети необходимо увеличивать среднее значение SINR на сети, которое зависит от различных факторов, в том числе от методов частотного планирования. В данной работе проведена оценка этой зависимости.

Рассмотрим два, наиболее часто используемых, метода повторного использования частот.

Первый метод — это работа всех базовых станций сети на одной несущей частоте, коэффициент повторного использования частот в этом случае равен 1. Далее будем называть такой метод одночастотным.

Внутрисистемные помехи при одночастотном методе минимизируются благодаря механизмам частотно-селективной диспетчеризации ресурсных блоков, модифицированному алгоритму управления мощностью абонентских устройств и координации помех между сотами. Однако, предусмотренные спецификациями 3GPP Release 8, механизмы координации помех являются недостаточно эффективными и не позволяют значительно увеличить значение SINR, особенно на краях соты.

Второй метод — работа базовых станций сети на разных несущих частотах. Коэффициент повторного использования частот в этом случае больше 1. Учитывая дефицит частотного ресурса в полосах частот, выделенных для строительства сетей LTE (2500—2570 / 2620—2690 МГц), значение коэффициента повторного исполь-

зования частот в этом случае будет равно 3. Далее будем называть такой метод трехчастотным. Внутрисистемные помехи при трехчастотном методе минимизируются благодаря частотному разному соседних базовых станций.

В данной работе выполнено измерение значений SINR в кластере площадью 13,3 кв. км., состоящем из 15 базовых станций, в условиях плотной городской застройки. На рис. 1 приведена гистограмма распределения значений SINR в процентном соотношении при имитации 30 % и 70 % загрузки всех секторов базовых станций трафиком при использовании одночастотного метода.

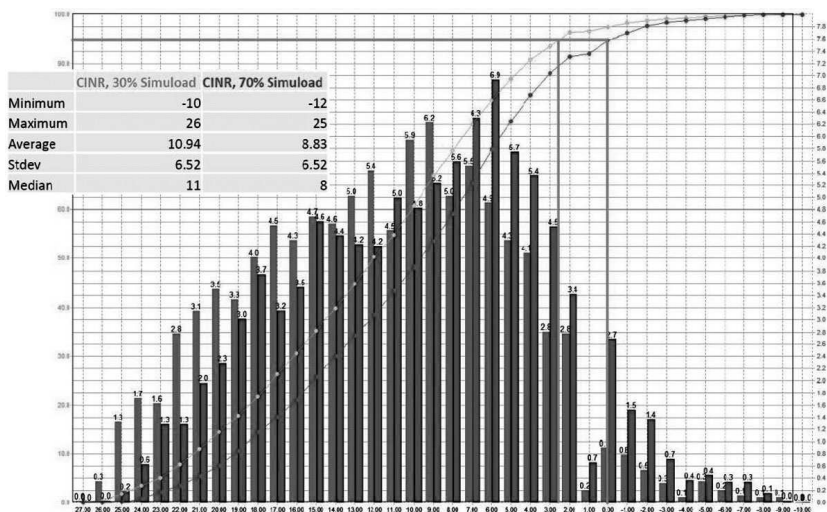


Рисунок 1. Гистограмма распределения значений SINR при коэффициенте повторного использования частот равном 1.

Среднее значение SINR на сети, полученное как математическое ожидание распределения, при 30 % загрузке составляет 10,94 дБ, что позволяет достичь спектральной эффективности равной 2,26 бит/с/Гц. Результаты измерения показывают, что при увеличении загрузки до 70 % среднее значение SINR уменьшается до 8,83 дБ. Следовательно, достижимое значение спектральной эффективности составляет 1,9 бит/с/Гц. Таким образом, при увеличении загрузки в соседних сотах до 70 % емкость соты снижается на 26 %. Это объясняется тем, что спектральная плотность мощности сигнала LTE зависит от количества задействованных в данный момент ресурсных блоков.

На рис. 2 приведен результат аналогичных измерений при использовании второго метода. В этом случае принята трехсекторная конфигурация базовых станций, в каждом из секторов которых используется один из трех частотных каналов, коэффициент повторного использования частот равен 3.

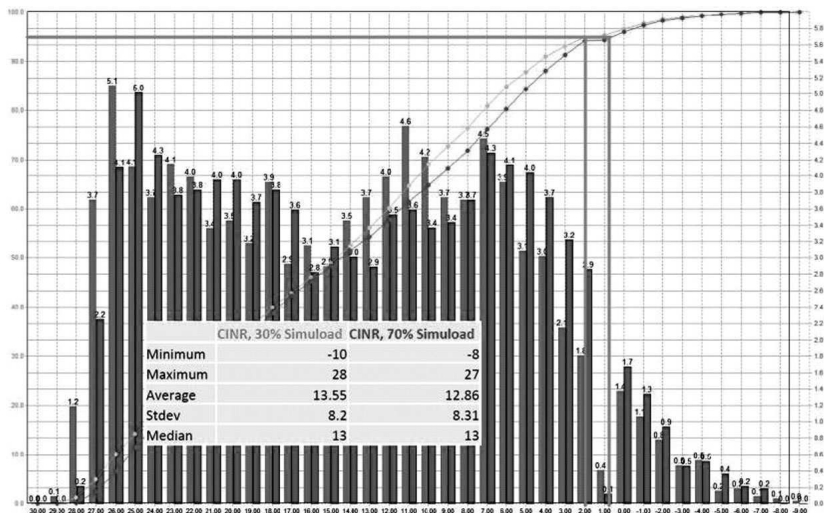


Рисунок 2. Гистограмма распределения значений SINR при коэффициенте повторного использования частот равном 3.

При этом значение SINR при 30 % загрузке составляет 13,55 дБ, что позволяет достичь спектральной эффективности равной 2,73 бит/с/Гц. Результаты измерения показывают, что при увеличении загрузки до 70 % среднее значение SINR уменьшается до 12,86 дБ, достижимая спектральная эффективность составляет 2,6 бит/с/Гц.

Результаты измерений показывают, что использование трехчастотного метода частотного планирования позволяет за счет снижения уровня внутрисистемных помех увеличить спектральную эффективность. Увеличение средней пропускной способности в кластере составило 37 %. При этом значительно меньше выражен эффект уменьшения SINR с ростом загрузки соседних сот.

Кроме того, применение трехчастотного метода позволило увеличить зону обслуживания, в которой обеспечиваются ключевые показатели эффективности. В частности, для обеспечения комфортной пропускной способности на абонента, оператором ИООО «Йота Бел» в

качестве одного таких показателей принято значение SINR более 5 дБ. На рис. 3 и рис. 4 показаны результаты измерения SINR.

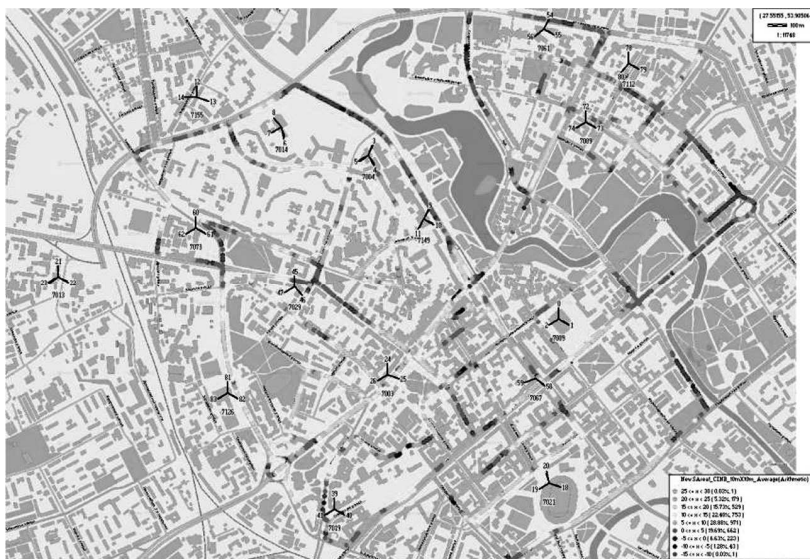


Рисунок 3. Распределение значений SINR по зоне обслуживания при коэффициенте повторного использования частот равном 1.

Таким образом, в зоне покрытия, за которую принимается территория, на которой обеспечивается уровень сигнала $RSRP > -110$ дБм, переходом на повторное использование частот с коэффициентом 3 удалось увеличить зону обеспечения ключевых показателей эффективности с 73 % до 82 % от площади зоны покрытия.

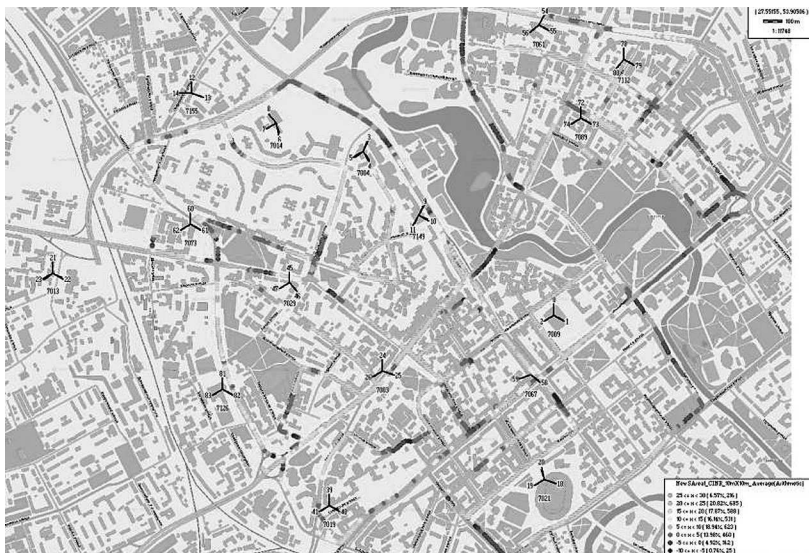


Рисунок 4. Распределение значений SINR по зоне обслуживания при коэффициенте повторного использования частот равном 3.

Однако, полученное значение выигрыша в пропускной способности соты не позволяет говорить о повышении эффективности использования радиочастотного ресурса с учетом необходимости его трёхкратного увеличения. В случае разделения выделенного оператору частотного ресурса на 3 полосы, снижение общей емкости трехсекторной базовой станции составит 47 % в сравнении с применением одночастотного метода.

Таким образом, для эффективного использования частотного ресурса, в качестве основного метода частотного планирования сетей LTE целесообразно применять одночастотный метод частотного планирования.

Основным средством увеличения пропускной способности сети, кроме увеличения ширины полосы радиоканала, является строительство многоуровневых сетей. Опыт эксплуатации различных сетей передачи данных показывает, что абонентская нагрузка будет распределяться неравномерно по территории обслуживания. Увеличение емкости сети может быть достигнуто с помощью микросотовых решений, предполагающих разбиение районов с большой абонентской нагрузкой на небольшие соты размером в несколько сотен метров. Несмотря на меньшую пропускную

способность микросоты, суммарная пропускная способность соты будет увеличиваться. В микросотах будет обеспечиваться лучшая спектральная эффективность в случае их работы на частотах, отличающихся от частот макросот, поскольку в этом случае в зоне обслуживания микросот будут достигаться большие значения SINR. Кроме того, конструктивное исполнение базовых станций для микросот упрощает их размещение в городских условиях.

Список литературы:

1. Технический отчет 3GPP TR 36.942 v 8.3.0, «Radio Frequency (RF) system scenarios». Sophia-Antipolis, 2010, 83 с.

КВАДРАТИЧНЫЕ ПОЛЯ ГАЛУА И ИХ ПРИМЕНЕНИЕ В СХЕМАХ ЦИФРОВОЙ ПОДПИСИ НА ОСНОВЕ КОНЦЕПЦИИ ПРОЛОНГИРОВАННОЙ БЕЗОПАСНОСТИ

Бондарь Виктория Витальевна

канд. физ.-мат. наук, доцент СГУ, г. Ставрополь

E-mail: viktori-bondar@yandex.ru

Одним из важнейших направлений развития современной криптографии являются системы пролонгированной безопасности. Системы данного типа базируются на совместном применении принципов пространственного разделения и периодического обновления секретной информации. Механизмы пролонгированной безопасности могут быть применены для модификации любого класса протоколов безопасности, используемых в распределенных вычислительных системах. К числу таких протоколов относятся протоколы аутентификации пользователей, управления криптографическими ключами, создания электронных цифровых подписей, коммуникационные протоколы и т. д.

Предложим модификацию протокола электронной цифровой подписи DSA из [2, с. 91—92] на основе математической модели пролонгированной безопасности с использованием квадратичных полей Галуа из [1, с. 36—38]. Допустим, что n абонентов, составляющих распределенную вычислительную сеть (РВС), должны поставить общую электронную цифровую подпись (ЭЦП) под некоторым сообщением M . Например, в качестве абонентов могут выступать n предприятий, образующих холдинг-компанию, а сообщение M может представлять

собой некий документ, касающийся совместной деятельности предприятий. Очевидно, что в этом случае должен быть выработан механизм создания общей ЭЦП, гарантирующий, что ни одно из предприятий, входящих в холдинг, не сможет самостоятельно поставить подпись под документами такого рода.

Известно, что система ЭЦП включает в себя две процедуры: 1) процедуру постановки подписи и 2) процедуру проверки подписи. В процедуре постановки подписи используется секретный ключ отправителя сообщения, а в процедуре проверки подписи — открытый ключ отправителя.

В предлагаемой схеме для того чтобы выработать общую пару ключей (открытый и секретный ключи), доверенный центр абонентов сначала генерирует следующие параметры:

1. p — большое простое число, удовлетворяющее условиям: $p > n$, $2^{512} < p < 2^{1024}$, битовая длина p кратна 64;
2. Q — большое простое число, удовлетворяющее условиям:

битовая длина Q равна 160, $(p - 1) \dot{=} Q$;

3. $g = h^{\frac{p-1}{Q}} \bmod p$, где $h \in Z, 0 < h < p, h^{\frac{p-1}{Q}} \bmod p > 1$.

Параметры p, Q, g не являются секретными и распространяются среди всех абонентов сети. Далее доверенный центр выбирает случайное целое число $1 < x < Q$ и вычисляет значение $y = g^x \bmod p$. Число y является общим открытым ключом, используемым для проверки совместной подписи абонентов рассматриваемой РВС. Число x является общим секретным ключом абонентов для подписи совместных сообщений. Данное число сохраняется в секрете и с помощью (n, k) -пороговой схемы разделения секрета (СРС) разделяется между абонентами сети.

Процесс разделения доверенным центром секретного ключа x включает в себя следующие этапы:

1. Каждому i -му абоненту присваивается характеристическое число m_i , где $m_i \in N, p > m_i, (m_i, m_j) = 1$ для любых $i, j (i \neq j, i = \overline{1, n}, j = \overline{1, n})$. Отметим, что секретный ключ x необходимо выбирать исходя из условия $\tilde{d} \in [\tilde{n}; b]$, где $\tilde{n} < b$, причем произведение любых $(k - 1)$ чисел из m_i меньше \tilde{n} , а произведение любых k чисел из m_i больше b .

2. Вычисляются «проекции» секретного ключа X , отсылаемые абонентам сети: $\tilde{\delta}_i = \tilde{\delta} \bmod m_i, i = \overline{1, n}$.

Будем считать, что СРС функционирует в режиме пролонгированной безопасности, причем периодическое обновление «проекций» общего секретного ключа осуществляется с использованием «блуждающих» ключей. В качестве пространства «блуждающих» ключей выберем квадратичное поле Гауля

$$F_p[t]/(t^2 + p - a) = \{(\hat{A}, \hat{A}) \mid A, B \in F_p\},$$

где \hat{a} — квадратичный невычет по модулю p .

Абоненты сети заранее находят один из квадратичных невычетов a по модулю p и генерируют элементы поля F , среди которых выбирают элемент $q = q_1 + q_2 t$, имеющий довольно большой порядок. Число q не является секретным. Кроме того, абоненты заранее договариваются о начальном ключе (A, B) и формируют последовательность случайных целых чисел K_j таких, что $1 < K_j < p - 1, (K_j, p - 1) = 1$ (эта информация сохраняется в секрете).

Пусть в результате применения пороговой СРС каждый абонент P_i получил свою пару значений (m_i, x_i) , где $\tilde{\delta}_i$ — секретная «проекция» i -го абонента. Представим «проекцию» в виде многочлена $\tilde{\delta}_{i1} + \tilde{\delta}_{i2} t$, где $x_i = x_{i1} + x_{i2}$, и будем записывать «проекцию» секрета абонента P_i в виде вектора (x_{i1}, x_{i2}) . Применение так называемого «вторичного» пространственного разделения секретной информации усложнит задачу вскрытия противником сервера абонента, так как координаты секретного вектора могут храниться на сервере отдельно.

Смена «проекций» x_i общего секретного ключа X осуществляется путем преобразований шифрования, аналогичных тем, которые применяются в криптосистеме Эль-Гамала. Механизм смены секретных «проекций» абонентов РВС в рамках j -го сеанса связи можно представить в виде следующей последовательности действий:

$$\tilde{\delta}_i^{j-1} \Leftrightarrow \tilde{\delta}_{i1}^{j-1} + \tilde{\delta}_{i2}^{j-1} \Rightarrow (A_j, B_j) \Rightarrow$$

(ēñōäüüä äüüüä) (ēëþ÷)

В результате под сообщением M ставится совместная цифровая подпись $S = (r, s)$. Подчеркнем, что данную подпись могут поставить только абоненты, входящие в структуру доступа, т. к. в противном случае (если число абонентов меньше k) общий секретный ключ x не может быть восстановлен, а, следовательно, получение подписи S невозможно.

Тройка чисел (M, r, s) передается получателю сообщения по открытым каналам связи. При этом пара чисел (K, x) сохраняется в секрете.

Процедура проверки подписи заключается в том, что получатель сообщения (M, r, s) должен удостовериться в том, что подпись $S = (r, s)$ соответствует сообщению M . Для этого получатель сначала проверяет выполнение условий $0 < r < Q$, $0 < s < Q$ и отвергает подпись, если хотя бы одно из этих условий не выполнено. Затем получатель вычисляет значение $w = s^{-1} \bmod Q$, хэш-значение $m = h(M)$ и числа $u_1 = mw \bmod Q$, $u_2 = rw \bmod Q$.

Далее получатель с помощью открытого ключа y вычисляет значение

$$v = ((g^{u_1} y^{u_2}) \bmod p) \bmod Q$$

и проверяет выполнение условия $v = r$. Если это условие выполняется, то подпись $S = (r, s)$ под документом M признается получателем подлинной.

Можно строго математически доказать, что последнее равенство будет выполняться тогда и только тогда, когда подпись $S = (r, s)$ под документом M получена с помощью именно секретного ключа x , из которого был получен открытый ключ y . Таким образом, можно надежно удостовериться, что отправитель сообщения владеет именно данным секретным ключом x (не раскрывая при этом значения ключа x) и что отправитель подписал именно этот документ M .

Список литературы:

1. Бондарь В. В., Семенова Н. Ф. Использование полей Гаула для разработки математической модели пролонгированной безопасности с «блуждающими» ключами // Инфокоммуникационные технологии. Т. 2, № 3, 2004. — С. 36—38.
2. Черемушкин А. В. Криптографические протоколы. Основные свойства и уязвимости: учеб. пособие. М.: Издательский центр «Академия», 2009. — 272 с.

ОПТИМИЗАЦИЯ РАССТАНОВКИ КАНАЛОВ УСКОРЕНИЯ ПРИ ОБНАРУЖЕНИИ ВЫСОКОМАНЕВРЕННЫХ ЦЕЛЕЙ

Козлов Дмитрий Николаевич

аспирант, РГРТУ, г. Рязань

E-mail: kozlovdmn@gmail.com

Возможности современных летательных аппаратов, особенно беспилотных, таковы, что радиальное ускорение при совершении маневров достигает больших значений. При длительном когерентном накоплении сигнала и совместном маневрировании носителя РЛС и облучаемой цели набег фазы за период повторения импульсов за счет ускорения φ'_c может изменяться в больших пределах, вследствие чего снижается вероятность правильного обнаружения. В связи с этим, в доплеровский обнаружитель вводится многоканальность по ускорению. Это, в свою очередь, приводит к увеличению вероятности ложных тревог всей системы пропорционально числу каналов по ускорению [2]. В случае обнаружения сигнала на фоне коррелированной помехи, равномерная расстановка каналов ускорения не является оптимальной с точки зрения потерь в пороговом отношении «сигнал/(помеха+шум)» (ПО). Следовательно, при обнаружении высокоманевренной цели на фоне коррелированной помехи (особенно, если носитель РЛС также движется с большими ускорениями) требуется оптимизировать каналы по ускорению. Для такой оптимизации представленный в [1] алгоритм был модифицирован нижеописанным образом.

Выразим ПО q в m -м канале по ускорению и l -м канале по скорости через вероятность правильного обнаружения D , вероятность ложной тревоги F и коэффициент μ улучшения отношения

«сигнал/(помеха+шум)»:
$$q_{m,l}(\varphi_c, \varphi'_c) = \frac{d}{\mu_{m,l}(\varphi_c, \varphi'_c)}, \quad \text{где}$$

$$d = \frac{\ln\left(\frac{F}{L \cdot M}\right)}{\ln(D)} - 1, \quad L \text{ и } M \text{ — число каналов по скорости и}$$

ускорению соответственно, φ_c — набег фазы за период повторения

импульсов за счет скорости,
$$\mu_{m,l}(\varphi_c, \varphi'_c) = \frac{\mathbf{W}_{m,l}^{T*} \mathbf{R}_c(\varphi_c, \varphi'_c) \mathbf{W}_{m,l}}{\mathbf{W}_{m,l}^{T*} \mathbf{R}_{i\varphi} \mathbf{W}_{m,l}},$$

$$W_j^{m,l} = \sum_{k=1}^N r_{jk} \exp(i(k\psi_l + k^2\psi'_m/2)), \quad r_{jk} \text{ — элементы матрицы } \mathbf{R}_{i\phi}^{-1},$$

i — мнимая единица, N — число импульсов в пачке, ψ_l и ψ'_m — настройки l -го и m -го каналов скорости и ускорения соответственно,

$\mathbf{R}_{i\phi}$ — корреляционная матрица смеси помехи и шума, $R_{j,k}^c(\varphi_c, \varphi'_c) = \exp[i((j-k)\varphi_c + (j^2 - k^2)\varphi'_c/2)]$ — элементы

корреляционной матрицы сигнала $\mathbf{R}_c(\varphi_c, \varphi'_c)$. В качестве критерия расстановки каналов выберем критерий минимума потерь в ПО. При

этом потери определяются как $\Delta q = \frac{\bar{q}}{q_{\min}}$, где

$$\bar{q} = \frac{d \cdot M \cdot L}{\sum_{m=1}^M \sum_{l=1}^L \frac{1}{\Delta\psi_l \Delta\psi'_m} \int_{\psi'_m - \frac{\Delta\psi'_m}{2}}^{\psi'_m + \frac{\Delta\psi'_m}{2}} \int_{\psi_l - \frac{\Delta\psi_l}{2}}^{\psi_l + \frac{\Delta\psi_l}{2}} \mu_{m,l}(\varphi_c, \varphi'_c) P(\varphi_c, \varphi'_c) d\varphi_c d\varphi'_c},$$

$P(\varphi_c, \varphi'_c)$ — априорная вероятность появления сигнала с набегами фаз φ_c и φ'_c , $\Delta\psi_l$ — ширина l -го канала скорости, $\Delta\psi'_m$ — ширина m -го канала ускорения;

$$q_{\min} = \frac{d'}{\Phi'_c \sum_{l=1}^L \frac{1}{\Delta\psi_l} \int_{\psi'_c - \frac{\Delta\psi_l}{2}}^{\psi_l + \frac{\Delta\psi_l}{2}} \int_{\psi'_c - \frac{\Delta\psi_l}{2}}^{\psi'_c + \frac{\Delta\psi_l}{2}} \mu_{m,l}(\varphi_c, \varphi'_c) P(\varphi_c, \varphi'_c) d\varphi_c d\varphi'_c}$$

минимальное пороговое отношение, рассчитываемое для случая

точной настройки каналов ускорения, где $d' = \frac{\ln\left(\frac{F}{L}\right)}{\ln(D)} - 1$, Φ'_c

определяется диапазоном изменения набега фаз за период повторения импульсов за счет ускорения.

Задаваясь допустимыми потерями $\Delta q_{\text{дв}}$, организуется итерационный алгоритм. На первом шаге выбирается один канал шириной равной диапазону возможных набегов фаз за счет ускорения.

Вычисляется величина потерь Δq , если она оказывается больше величины $\Delta q_{\text{дир}}$, то ширина канала уменьшается и вновь проверяется условие $\Delta q \leq \Delta q_{\text{дир}}$. Когда данное условие становится истинным, добавляется еще один канал, дополняющий предыдущий до Φ'_c . При этом ширина предыдущего канала должна быть предварительно скорректирована, так как при добавлении канала изменяется параметр

$$d = \frac{\ln\left(\frac{F}{L \cdot M}\right)}{\ln(D)} - 1,$$

зависящий, как видно, от числа каналов по ускорению. Выполнение алгоритма завершается, при перекрытии всего диапазона Φ'_c .

На рисунках 1 — 3 представлены зависимости потерь в ПО от числа каналов скорости при равномерной (наклонная штриховка) и оптимальной (вертикальная штриховка) расстановках каналов ускорения в диапазоне $\pm 0.5\pi$. Оптимизация проводилась при равномерной расстановке каналов скорости в диапазоне 2π , $F = 10^{-6}$, $D = 0.9$, равномерном распределении φ_c и φ'_c , модели

корреляционных элементов $\rho_{jk} = \exp\left(\frac{-\pi^2(\Delta\varphi_i(j-k))^2}{2.8}\right)$, где

$\Delta\varphi_i$ — нормированная к периоду повторения ширина спектра флуктуаций помех.

Приведенные результаты показывают, что при $\Delta\varphi_i = 0.1$ оптимизация не обеспечивает меньшие, чем при равномерной расстановке каналов по ускорению, потери в ПО. Это связано с меньшим влиянием настройки каналов на величину Δq , нежели эффективность подавления узкополосной помехи. При $\Delta\varphi_i = 0.3$ оптимизация приводит к уменьшению Δq на 2..3 дБ.

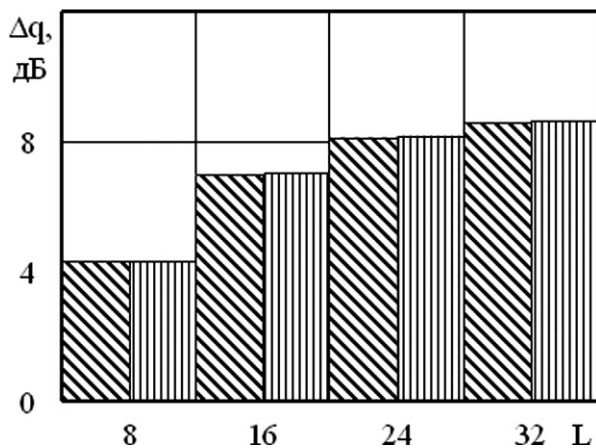


Рисунок 9. Потери в ПО при $N = 32$, $\Delta\varphi_i = 0.1$

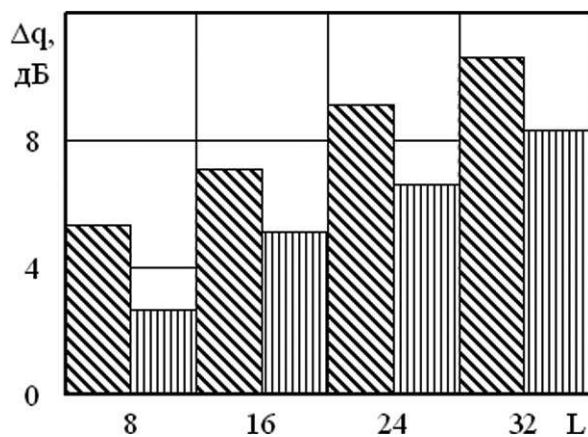


Рисунок 10. Потери в ПО при $N = 32$, $\Delta\varphi_i = 0.3$

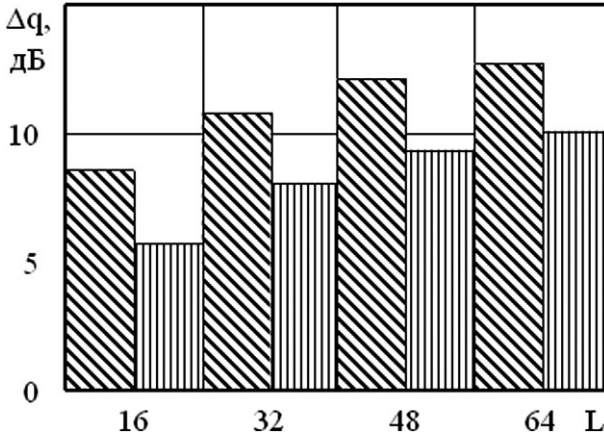


Рисунок 11. Потери в ПО при $N = 64$, $\Delta\varphi_i = 0.3$

При расчетах вводилось ограничение на максимальное число каналов по ускорению, так как, наибольший выигрыш, по сравнению с равномерной расстановкой, оптимизация будет давать в том случае, когда допустимые потери таковы, что не требуется большого числа каналов по ускорению. При уменьшении Δq_{opt} оптимизированная расстановка стремится к равномерной, что также наблюдается и при увеличении $\Delta\varphi_i$ до 1. Рост Δq при увеличении числа импульсов в пачке связан с большим размытием сигнала по каналам скорости, что в свою очередь приводит к большему влиянию неточной компенсации ускорения. В то же время рост Δq при увеличении числа каналов скорости и фиксированной длине пачки вызван тем, что при одном и том же значении φ'_c сигнал при большем L распределится, соответственно, по большему числу каналов скорости. В результате, на каждый из каналов будет приходиться меньшая часть мощности сигнала.

В таблице 1 приведена расстановка каналов по ускорению при $N = 32$, $\Delta\varphi_i = 0.3$, $L = 16$. Видно, что происходит сужение каналов от центра к периферии, не считая первого канала, находящегося под наибольшим влиянием помехи. При большем набеге фаз, распределение сигнала по каналам скорости вызывает большие потери в ПО, что компенсируется более точной расстановкой каналов ускорения.

Таблица 1.

Расстановка каналов ускорения

ψ'_m/π	0	± 0.078	± 0.1965	± 0.28	± 0.3285
$\Delta\psi'_m/\pi$	0.022	0.134	0.103	0.064	0.033
ψ'_m/π	± 0.3645	± 0.396	± 0.4225	± 0.452	± 0.4835
$\Delta\psi'_m/\pi$	0.039	0.024	0.029	0.03	0.033

В результате вышеописанной оптимизации появляется возможность при фиксированном значении Δq уменьшить число каналов, тем самым снизив вычислительные затраты по сравнению с равномерной расстановкой.

Таким образом, синтезирован алгоритм, позволяющий при заданных допустимых потерях в ПО и требованиях к характеристикам обнаружения оптимально выбрать расстановку каналов ускорения по возможному диапазону набегов фаз за счет ускорения, при обнаружении сигнала с неизвестной доплеровской частотой на фоне коррелированной помехи.

Список литературы:

1. Бакулев П. А., Кошелев В. И., Гладких В. В. Оптимальное многоканальное обнаружение сигналов на фоне коррелированных помех // Изв. вузов. Радиоэлектроника.— 1987.— Т. 30.— № 4.— С. 4—7.
2. Бакулев П. А. Радиолокационные системы. Учебник для вузов. Изд. 2-е, перераб. и доп.— М.: Радиотехника, 2007, 376 с., ил.

ПОВЫШЕНИЕ БЕЗОПАСНОСТИ ИЗДЕЛИЙ РАДИОСВЯЗИ С УЧЕТОМ ОСНОВНЫХ ВЛИЯЮЩИХ ФАКТОРОВ

Копытов Евгений Юрьевич

аспирант, ОмГУПС, г. Омск

E-mail: jenya87@listl.ru

Научно обоснованная оценка безопасности изделий радиосвязи необходима в процессе их проектирования и эксплуатации для определения предельных значений (норм). Задача повышения безопасности должна быть решена в комплексе: необходимо учитывать не только свойства аппаратуры и влияние условий в процессе ее эксплуатации, но и свойства системы обслуживания и воздействия внешней среды.

Понятие «безопасность» относят к свойствам надежности. Согласно [1] безопасность — свойство технической системы сохранять безопасное для обслуживающего персонала состояние при соблюдении установленных правил эксплуатации.

Рассмотрим процесс эксплуатации изделий радиосвязи, который характеризуется уровнем надежности, зависящим от множества эксплуатационных факторов изделий радиосвязи. Одним из наиболее распространенных показателей надежности является интенсивность отказов $\lambda(t)$.

Опыт эксплуатации электронных устройств показывает, что изменение интенсивности отказов системы длительного действия происходит следующим образом (рисунок 1) [6].

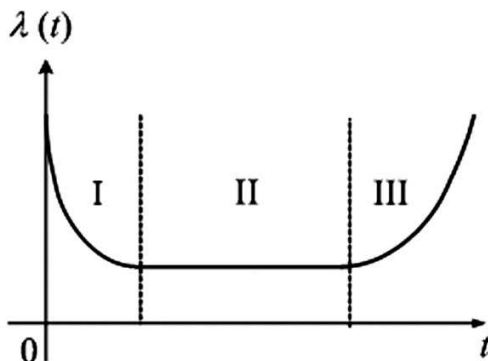


Рисунок 1. Кривая интенсивности отказов

I — период начальной приработки аппаратуры. В этот период наблюдается повышенное число отказов системы вследствие различных производственных недостатков и выхода из строя наиболее ненадежных ее элементов со скрытыми дефектами. По мере выхода из строя дефектных элементов и замены их более качественными интенсивность отказов системы понижается. Продолжительность периода приработки зависит от типа системы и вида характеристик элементов, тем короче период приработки.

II — период нормальной эксплуатации системы, характеризуемый пониженным уровнем и постоянством интенсивности отказов во времени. Продолжительность этого периода зависит от среднего срока службы элементов системы и условий ее эксплуатации. Обычно она составляет несколько тысяч часов и характеризует долговечность аппаратуры. Интенсивность отказов системы в период нормальной эксплуатации можно снизить за счет проведения профилактических ремонтных мероприятий. Период нормальной эксплуатации системы определяется экспоненциальным законом распределения вероятности безотказной работы.

III — период массового износа и старения элементов системы, характеризуемый значительным ростом числа отказов, что вызвано увеличением числа постепенных отказов. Постепенный отказ — отказ, происходящий в результате медленного, постепенного ухудшения характеристик объекта из-за износа и старения материалов, связанных с необратимыми физико-химическими процессами вследствие длительной эксплуатации [4].

Поскольку в процессе функционирования изделий радиосвязи ухудшаются характеристики ее элементов, то при оценке безопасности необходимо учитывать влияние разрегулировки узлов, при которой значение одного или нескольких параметров выходит за номинальные пределы, но аппаратура способна выполнять свои функции, хотя и с меньшей эффективностью. Разрегулировка характеризует процессы старения и износа аппаратуры и отдельных ее элементов. Анализ работы [5] показал, что разработанная модель не позволяет учитывать разрегулировку в системе оценки безопасности, что приводит к неудовлетворительным результатам при исследовании. Необходимо отметить, что учет постепенных отказов, в частности разрегулировки, позволяет значительно повысить точность при оценке безопасности.

Так же, в процессе эксплуатации любая техническая система подвергается воздействию различных факторов, поэтому нужно отразить это влияние при оценке ее безопасности. Одним из важнейших является так называемый «человеческий фактор» — влияние обслуживающего персонала на общую безопасность технической системы. Под термином

квалификация обслуживающего персонала будем понимать степень его подготовленности, которая определяется знанием устройства и назначения аппаратуры, условий и правил ее эксплуатации, умением поддерживать ее в исправном состоянии, предупреждать появление некоторых отказов, устранять появившиеся отказы, правильно организовать работу по эффективному использованию аппаратуры по назначению [2]. От квалификации персонала, его психологического состояния зависит качество проводимых мероприятий и всех работ на технике, что сказывается на количественных показателях эксплуатационно-технических характеристик. Поэтому, для обеспечения надежности на этапе эксплуатации необходимо предусматривать меры, не позволяющие использовать или обслуживать технику не в соответствии с требованиями нормативно-технической документации, и готовить квалифицированный персонал [1]. Частота отказов по вине человека составляет обычно от 20 до 80 % всех случившихся отказов. Поэтому учет воздействия человека, в том числе и при проведении работ по техническому обслуживанию (ТО) и восстановлению должен обязательно проводиться при оценке безопасности технических систем.

На любую техническую систему воздействуют так же факторы внешней среды, что также желательно отразить при оценке безопасности. Рассмотрим схему взаимодействия произвольной технической системы, выполняющей функции по обеспечению безопасности, окружающей среды и человека (рисунок 2).

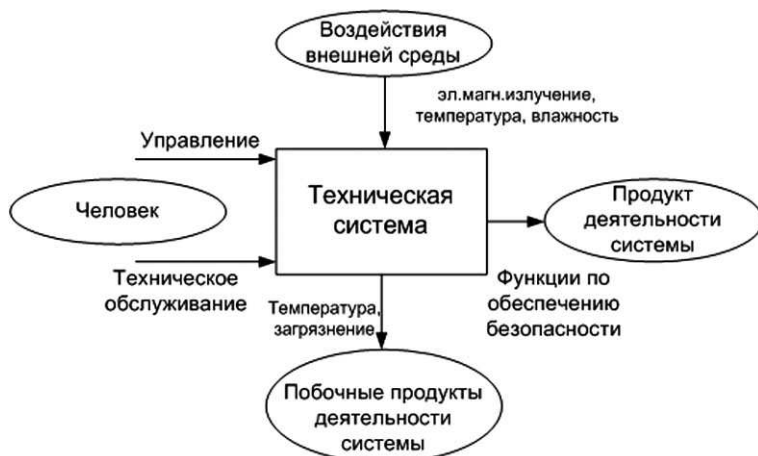


Рисунок 2. Структурная схема взаимодействия технической системы, внешней среды и человека

Каждый элемент структуры, представленной на рисунке, является ее неотъемлемой частью и выполняет отведенную ему роль. К примеру, такие воздействия внешней среды, как электромагнитные излучения, температура, вибрации и т. п. являются, в большинстве случаев, дестабилизирующими факторами, оказывают неблагоприятное воздействие на техническую систему и должны быть учтены в рассматриваемой схеме взаимодействия. Исключить влияние внешней среды из схемы взаимодействия, чаще всего, невозможно, поэтому при моделировании таких структур необходимо отразить наличие воздействий среды. Это достигается путем учета поправочных коэффициентов при расчете показателей надежности устройств [3].

Результатом деятельности системы являются функции по обеспечению безопасности. В случае невыполнения системой этих функций происходит нарушение безопасного состояния. Алгоритм функционирования системы должен быть построен таким образом, чтобы в случае опасного отказа система была переведена необратимое защитное состояние с отключением ее элементов от управления ответственными технологическими процессами. Обратный переход в работоспособное состояние исключается (маловероятен) и обычно возможен лишь с участием человека. Побочными продуктами любой технической системы могут являться различные виды излучений, вибрации, шумы и т. д. Вопросы влияния вредных факторов, возникающих в процессе эксплуатации технических устройств технологической радиосвязи, относятся к экологическим и не рассматриваются в данной работе.

Влияние человека в данной схеме взаимодействия оценивается в двух процессах — управления и технического обслуживания (ТО). Процесс управления предполагает взаимодействие человека и системы во время эксплуатации, при выполнении человеком операций, для которых предназначена данная система. Например, возимая радиостанция РВ-1М предназначена для обеспечения связи между машинистом и поездным диспетчером в процессе движения поезда по перегону. Поэтому все действия, производимые оператором в процессе эксплуатации радиостанции, относятся к управляющим воздействиям. Другим видом воздействия человека на техническую систему является ТО. Оно выделено в отдельный вид взаимодействия, поскольку процесс ТО предполагает, в большинстве случаев, выключение системы из общей структуры обеспечения безопасности и, кроме того, при проведении ТО возможны ошибочные действия персонала, которые приводят к нарушению безопасности. Важно отметить, что наибольшим по степени воздействия на систему является участие

человека в процессе ТО, так как в случае ошибочных действий при эксплуатации, вызывающих нарушение алгоритма функционирования системы, она должна перейти в защитное состояние, тем самым, исключив нарушение безопасного состояния системы.

Для дальнейшего исследования из всех вышеназванных факторов при проведении работ по ТО системы наиболее целесообразным является учет влияния ошибок, совершаемых человеком.

При контроле технического состояния объекта совершается проверка работоспособности, выявление и прогнозирование отказов в объекте. Техническое обслуживание и ремонт представляют собой комплекс работ, выполнение которых направлено на поддержание исправности и работоспособности изделий технологической радиосвязи при их эксплуатации, хранении и транспортировке.

Таким образом, повышение безопасности изделий радиосвязи требует учета рассмотренных выше факторов и оптимизации периодичности выполнения ТО и ремонта в процессе эксплуатации.

Список литературы:

1. Дорохов А. Н. Обеспечение надежности сложных технических систем [Текст] / А. Н. Дорохов, В. А. Керножицкий, А. Н. Миронов, О. Л. Шестопалова. — СПб.: Лань, 2011. — 352 с.: ил.
2. Лавриненко В. Ю. Основы эксплуатации радиоэлектронной аппаратуры: учебное пособие для студентов вузов [Текст] / А. К. Быкадоров, Л. И. Кульбак, В. Ю. Лавриненко и др. / под ред. В. Ю. Лавриненко. — М.: Высшая школа, 1978. — 320 с.: ил.
3. Либерман Ф. Я. Электроника на железнодорожном транспорте: учебное пособие для вузов ж.-д. трансп [Текст] / Ф. Я. Либерман. — М.: Транспорт, 1987. — 288 с.: ил.
4. Половко А. М. Основы теории надежности [Текст] / А. М. Половко, С. В. Гуров. СПб.: БВХ-Петербург, 2008. — 704 с.: ил.
5. Филенков В. В. Совершенствование методов контроля и количественной оценки безопасности изделий ТЕХНИЧЕСКИХ СРЕДСТВ связи и автоматики [Текст] / В. В. Филенков / диссертация кандидата технических наук: 05.11.13 Омск, 2004. — 135 с.
6. Ямпурин Н. П. Основы надежности электронных средств: учеб. пособие для студ. высш. учеб. заведений [Текст] / Н. П. Ямпурин, А. В. Баранова / под ред. Н. П. Ямпурин. — М.: Академия, 2010. — 240 с.: ил.

МАСШТАБНОЕ ФИЗИЧЕСКОЕ УЛЬТРАЗВУКОВОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ, ЕГО ПРОГРАММНАЯ И АППАРАТНАЯ СТОРОНА

Шкапский Глеб Игоревич

магистрант, БГТУ «Военмех», г. Санкт-Петербург

Курнина Дарья Валерьевна

магистрант, БГТУ «Военмех», г. Санкт-Петербург

Смолин Виктор Павлович

доцент, канд. техн. наук, БГТУ «Военмех», г. Санкт-Петербург

E-mail: shkgleb@mail.ru

Данная статья посвящена применению масштабного физического УЗМ (ультразвукового моделирования) для экспериментального исследования ЭПР (эффективной площади рассеяния) моделей разнообразных объектов. Такое моделирование дает возможность производить многократные эксперименты работы проектируемой РЛ-системы в одинаковых условиях внешней обстановки. В настоящее время широко используются системы получения радиолокационных изображений (РЛИ) удаленных объектов для их распознавания и идентификации.

Для повышения эффективности работ по проектированию РЛ-систем и решения указанных выше задач, широко используются различные методы моделирования: математическое, полунатурное, масштабное физическое (электродинамическое и ультразвуковое).

На начальных этапах проектирования системы применяется математическое и масштабное физическое моделирование.

Так как задачей рассматриваемого класса РЛ-систем является получение изображения объекта с высоким разрешением, модель внешней обстановки должна формировать параметры отраженных от объекта РЛ-сигналов в соответствии с его формой и отражающими свойствами. При моделировании необходимо использовать специальные цифровые базы данных, содержащие высокоточные трехмерные представления объектов, учитывать многократные переотражения сигналов между элементами объектов и т. п. Такие модели уникальны, требуют больших затрат времени и средств на свою разработку. При этом у пользователей модели нет полной уверенности в достаточной близости моделируемых сигналов к

реальным. Поэтому более предпочтительным для моделирования внешней РЛ-обстановки может оказаться масштабное физическое ультразвуковое моделирование (УЗМ) в гидроакустическом бассейне с акустическими моделями реальных объектов. Так как в радиолокации и гидролокации используются одни и те же принципы и алгоритмы обработки эхосигналов, несмотря на различие природы акустических и электромагнитных волн, такое моделирование обладает по сравнению с математическим большей точностью и достоверностью. Различия получаемых при УЗМ гидролокационных и реальных РЛ-изображений объектов не имеют существенного значения, так как системы распознавания должны одинаково хорошо работать с изображениями, полученными как с помощью радиолокатора, так и гидролокатора [5].

УЗМ дает возможность многократно производить экспериментальные измерения при одних и тех же условиях внешней обстановки.

С помощью УЗМ могут исследоваться различные РЛ-системы и режимы, за исключением тех, в которых необходимо учитывать поляризационные свойства электромагнитных волн, так как акустические волны в воде имеют продольный характер колебаний, и поляризационные эффекты для них отсутствуют, в отличие от поперечных электромагнитных волн. В качестве приемопередающих антенн и элементов реальной радиолокационной обстановки (объектов, подстилающей поверхности и т. д.) при моделировании используются соответствующие им уменьшенные акустические модели – аналоги, выполненные в волновом масштабе (отношение длин ультразвуковой и электромагнитной волн) и размещенные в гидроакустическом бассейне.

УЗМ обладает большой эффективностью при разработке новых РЛ-систем и имеет ряд преимуществ по сравнению с другими способами исследования:

- небольшая стоимость и трудоемкость создания, эксплуатации оборудования и проведения экспериментов;
- большая достоверность и точность получаемых результатов, сравнимая с натуральными экспериментами.

Благодаря значительно меньшей скорости распространения моделирующих ультразвуковых волн в воде ($V_m \approx 1500$ м/с) по сравнению с реальными электромагнитными колебаниями в воздухе ($V_p = 3 \times 10^8$ м/с) удастся имитировать сантиметровый диапазон электромагнитных волн, используя всего лишь мегагерцовый диапазон моделирующих несущих частот ультразвука, что упрощает применение современных цифровых технологий и делает возможным, например, преобразование эхосигналов с помощью аналого-цифровых

преобразователей (АЦП) в цифровую форму непосредственно на несущей частоте.

Следует отметить, что для измерения случайных характеристик ЭПР и угловых флуктуаций эффективного центра отражения цели методом гидроакустического моделирования, необходимо поочередно в определенной точке бассейна располагать эталонный отражатель с известной ЭПР и модель протяженной цели, выполненную в определенном масштабе. Формировать выборки измеренных значений ЭПР числом не менее 2000, для неизменности его среднего значения $\bar{\sigma}$, и вводить их в ПК. А затем, осуществляя их статистическую обработку по программе, получать на дисплее, выводить из ПК на принтер или сохранять на носитель информации среднее значение ЭПР цели и эталонного отражателя, гистограмму распределения плотности вероятности и спектр колебаний величины ЭПР цели, или ее корреляционную функцию.

Измерение ЭПР целей с большим отношением характерного размера цели к длине волны является наиболее благоприятным случаем, так как ЭПР таких целей [4] слабо зависит от поляризации волны. А применять метод гидроакустического моделирования возможно лишь для экспериментального решения тех электродинамических задач, в которых поляризацией радиоволн можно пренебречь.

Однако при больших отношениях L_c/λ появляются специфические трудности, основными из которых можно считать сильную изрезанность диаграммы вторичного излучения цели, большой динамический диапазон изменения ЭПР и трудности в обеспечении условия дальней зоны.

Известно, что само понятие ЭПР имеет смысл при некотором эталонном падающем поле. За эталонное поле обычно принимают поле плоской волны, т.е. падающая волна в месте расположения рассеивающего объекта должна быть плоской (монохроматической) [7]. Амплитуда отраженной волны должна измеряться либо на бесконечно большом удалении от рассеивающего объекта, либо условия дальней зоны обеспечиваются путем применения специальной акустической прожекторной системы.

Дистанционное зондирование объекта в гидроакустическом бассейне должно происходить в условиях, близких к радиолокационным натурным испытаниям. Рационально использовать одиночный излучатель точечного типа с широкой ДН на передачу, т.к. он будет уменьшать затраты, но из-за использования точечного излучателя будут возникать лишние переотражения от стенок бассейна. При выборе приемной антенны, актуальным вариантом является антенна с

направленным излучением, имеющая узкую ДН, с высокой разрешающей способностью. Из всех антенн разного типа поставленному требованию удовлетворяет только АФАР. Причем, на базе именно цифровой антенной решетки (ЦАР) можно создать высокоинформативную приемную систему, способную воспринять всю информацию, содержащуюся в структуре пространственно-временных акустических полей в раскрыве решетки, и практически без потерь трансформировать ее в данные о наличии и параметрах объектов.

Приемный антенный модуль представляет собой плоскую эквидистантную решетку. На приеме решетка излучателей приемного модуля принимает отраженные сигналы, ограниченные ДН. Принятый сигнал является слабым, за один метр сигнал ослабляется на 9 Дб, для его усиления в каждом канале задействован малошумящий усилитель (рис. 1). Временная дискретизация и квантование осуществляется в АЦП. Для каждой дискретной выборки из возникающих колебаний в излучателях при падении на решетку гидроакустической волны производится оцифровка, каждая выборка представляется в виде двоичного числа. Решетка излучателей в отличие от непрерывного раскрыва по своему построению является дискретной системой, поэтому возбуждаемые в излучателях колебания являются дискретными выборками гидроакустической волны. Каждое колебание, попадая в АЦП своего канала, подвергается временной дискретизации и преобразуется в последовательность временных выборок. Таким образом, принимаемый сигнал можно представить в виде пространственно-временного поля выборок. Оцифрованные выборки одновременно, за один такт сохраняются в ПЛИС (программируемой логической интегральной схеме).

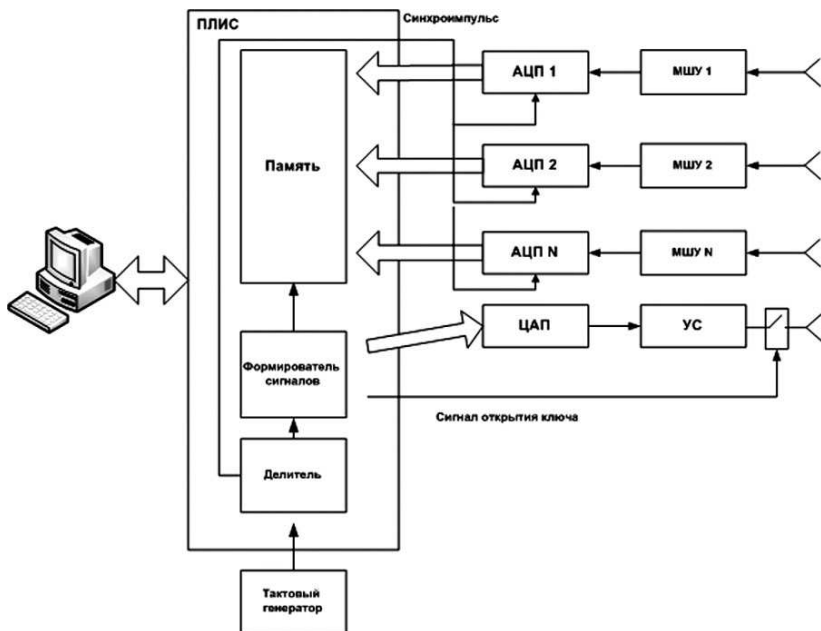


Рисунок 1. Структурная схема аппаратного комплекса

Кварцевый тактовый генератор вырабатывает импульсы, которые подаются на делитель, после делителя на формирователь сигналов и на АЦП, с формирователя сигнал поступает непосредственно в память ПЛИС, на цифровой ключ, для его открытия, и на канал передачи. Сначала сигнал проходит ЦАП, затем усиливается в малошумящем УС и подается на антенну, на одиночный излучатель точечного типа. После передачи сигнала антенной, цифровой ключ блокирует канал передачи, и отраженная волна падает только на приемную ЦАР, не затрагивая передающий тракт. Сигнал принимается излучателями ЦАР, затем усиливается в малошумящем усилителе, одновременно оцифровывается в АЦП и передаются в ПЛИС для записи в запоминающее устройство. После записи содержимое памяти передается на ПК для дальнейшей обработки.

Как правило, в теории [1, 2, 3, 6], а также на практике, принятый сигнал сразу пропускается через программируемые элементы задержки во всех приёмных трактах для формирования одной из ДН решётки. После оцифровки сигналы со всех приёмных каналов суммируются, и затем результат отображается или сохраняется. Далее генерируется ещё один сигнал, затем отраженный сигнал принимается

излучателями и проходит уже через элементы задержки с другими временными параметрами. Для формирования полного изображения сигнал генерируется и принимается столько раз, сколько нужно сформировать ДН для различных направлений.

В настоящее время уже можно обойтись без элементов задержки. В данной статье мы предлагаем не использовать элементы задержки, а сохранять весь принятый оцифрованный сигнал сразу в память, сдвигать сигнал и формировать ДН непосредственно на ПК. Это требует гораздо большего объёма памяти, но в современных условиях это не является препятствием.

Итак, дальнейшее внимание будет сконцентрировано на создании программного комплекса для такого рода обработки принятых данных с ЦАР. Программа будет работать без аппаратного комплекса — на расчётный модуль для дальнейшей обработки будет подаваться сгенерированный в самой же программе тестовый сигнал. По полученным данным программы можно будет оценить, подходит ли этот метод формирования изображения. При положительном результате испытаний в дальнейшем можно легко подключить аппаратный комплекс для проведения полноценных испытаний в гидроакустическом бассейне.

Программа состоит из двух модулей. Первый модуль формирует для каждого излучателя отражённый от объекта тестовый сигнал и записывает его в память. Второй модуль обрабатывает сохранённый в памяти полученный сигнал, определяет направление прихода сигнала и строит гидролокационное изображение.

Рассмотрим первый модуль и процесс формирования сигнала. Введём несколько переменных, которые будут использоваться в расчёте.

$$T = 1/f, \quad (1)$$

где $f = 2,5$ МГц — частота сигнала; T — период сигнала;

$$\lambda = v/f, \quad (2)$$

где λ - длина волны сигнала;

$$d = \lambda/2, \quad (3)$$

где d — расстояние между соседними излучателями;

Для оси X найдем основные параметры:

$$\theta x = \theta x_{Deg}/180^\circ \cdot \pi, \quad (4)$$

где θx_{Deg} — направление объекта в градусах; θx — направление объекта в радианах;

$$ddX = d \cdot \sin \theta x, \quad (5)$$

где ddX — разница расстояний, преодолеваемых волной, для соседних излучателей;

$$dtX = ddX/v, \quad (6)$$

где dtX — разница времени прихода волны на соседние излучатели;

$$d\varphi X = dtX/T \cdot 2d \cdot \pi, \quad (7)$$

где $d\varphi X$ — разница фаз сигнала на соседних излучателях;

Для оси Y найдем основные параметры:

$$\theta y = \theta y Deg / 180^\circ \cdot \pi, \quad (8)$$

где $\theta y Deg$ — направление объекта в градусах; θy — направление объекта в радианах;

$$ddY = d \cdot \sin \theta y, \quad (9)$$

где ddY — разница расстояний, преодолеваемых волной, для соседних излучателей;

$$dtY = ddY/v, \quad (10)$$

где dtY — разница времени прихода волны на соседние излучатели;

$$d\varphi Y = dtY/T \cdot 2d \cdot \pi, \quad (11)$$

где $d\varphi Y$ — разница фаз сигнала на соседних излучателях.

Примем фазу сигнала $\varphi_{Nx, Ny}$ на излучателе Nx, Ny равной нулю. Рассчитаем фазу на остальных излучателях относительно фазы $\varphi_{Nx, Ny}$ для сигнала, пришедшего с направления $\theta x, \theta y$.

$$\varphi_{x,y} = -d\varphi X \cdot (Nx - x) - d\varphi Y \cdot (Ny - y), \quad (12)$$

где x, y — номер излучателя; Nx — количество излучателей в направлении оси X; Ny — количество излучателей в направлении оси Y; $x = 1 \dots Nx$; $y = 1 \dots Ny$.

Сформируем сигнал для каждого излучателя.

$$S^{in}_{x,y}(j) = A \cdot \sin(2\pi \cdot \frac{f}{f_d} \cdot j + \varphi_{x,y}), \quad (13)$$

где A — амплитуда сигнала; f_d — частота дискретизации; j — номер дискрета.

Рассмотрим второй модуль и процесс определения направления прихода сигнала. Введём несколько переменных, которые будут использоваться в расчёте.

$$Nk = Nl = \text{round}(f_d/f), \quad (14)$$

где Nk, Nl — количество формируемых ДН в плоскостях OYZ и OXZ; round — операция округления до целого числа.

Предположим, что на ЦАР поступает сигнал $S^{signal}_{x,y}(j)$ и помеха $S^{noise}_{x,y}(j)$. Тогда суммарный сигнал запишется в виде:

$$S^{in}_{x,y}(j) = S^{signal}_{x,y}(j) + S^{noise}_{x,y}(j). \quad (15)$$

Сформируем все возможные ДН с помощью фазового сдвига и рассчитаем сигнал для каждого направления.

$$S^{sum}_{k,l}(j) = \sum_{x=1}^{Nx} \sum_{y=1}^{Ny} S^{in}_{x,y}(j + y \cdot k + x \cdot l) \quad (16)$$

Для каждого направления с помощью преобразования Фурье определим амплитуду сигнала на несущей частоте.

$$A_{k,l} = \mathcal{F}(S^{sum}_{k,l}(j))(f) \quad (17)$$

Максимальное значение амплитуды $A_{k,l}$ для k_0, l_0 соответствует направлению сигнала. Осталось вычислить углы, соответствующие направлению k_0, l_0 .

$$\varphi_k = \arcsin\left(2 \cdot \frac{k}{Nk}\right) / \pi \cdot 180^\circ \quad (18)$$

$$\varphi_l = \arcsin\left(2 \cdot \frac{l}{Nl}\right) / \pi \cdot 180^\circ \quad (19)$$

В диалоговом окне программы задаются параметры сигнала и помехи, направление на объект, и характеристики ЦАР. На первой вкладке «Параметры сигнала, объекта, антенны» диалогового окна программы задаются параметры сигнала, направление на объект и характеристики ЦАР. На второй вкладке «Параметры помехи» задаются только параметры помехи. Для сигнала задается его частота, частота дискретизации и количество дискретов. Амплитуда сигнала фиксирована, равна единице, и задана в коде программы. ЦАР характеризуется количеством излучателей по обеим осям. Направление объекта в двух плоскостях OYZ и OXZ выставляется на шкале в пределах -90 до 90 градусов. В правой половине окна программы на графике отражена зависимость амплитуды сигнала от его направления. Направление прихода сигнала разложено по двум плоскостям, соответствующие углы расположены по горизонтальной и вертикальной осям. Амплитуда сигнала прямо пропорциональна интенсивности цвета точек, изображенных на этом графике. В левой стороне окна программы располагаются три графика. Верхний график показывает зависимость амплитуды от угла в плоскости OYZ для рассчитанного угла направления объекта в плоскости OXZ и зависимость амплитуды от угла в плоскости OXZ для рассчитанного угла направления объекта в плоскости OYZ. На нижних двух графиках уже приведена полярная система координат. Графики показывают зависимость амплитуды сигнала от угла в плоскостях OYZ и OXZ для ортогональных плоскостей, в которых присутствует максимальная амплитуда сигнала. Рассчитанные числовые значения углов направления объекта приводятся ниже всех графиков, и для удобства сравнения также приведены его заданные углы. На второй вкладке программы выставляются параметры помехи, такие как её амплитуда, частота и направление в двух плоскостях OYZ и OXZ.

Если поставить галку «с помехой», то программа генерирует не только сигнал, но и помеху для дальнейшей их передачи в модуль распознавания объекта. Для распознавания сигнала прибегаем к преобразованию Фурье. Основное назначение преобразования Фурье — выделить частоты регулярных составляющих сигнала, зашумленного помехами. В нашем случае мы с помощью преобразования Фурье выделяем несущую частоту 2.5 МГц.

Если частота шума и сигнала совпадает, а заданные углы шума и сигнала разные, т. е. они приходят на излучатель с разных

направлений, то мы видим на графики две точки: одна из них характеризует сигнал, другая помеху. Если частоты равны, то возникает неопределенность.

При различии частоты помехи и несущей частоты сигнала после преобразования Фурье и выделения несущей частоты помеха отсеивается.

Рассмотрим направление помехи, которая в одной из плоскостей почти совпадает с направлением сигнала, это усложняет распознавание сигнала на фоне помехи. При одинаковой амплитуде помехи и сигнала, но при отличии частоты сигнала от частоты помехи на 20 кГц (0.8 % при несущей частоте сигнала 2.5 МГц) помеха отсеивается после преобразования Фурье и выделения несущей частоты, а сигнал уже становится различимым. На рисунке 2 видно, что направление на объект верно рассчитано.

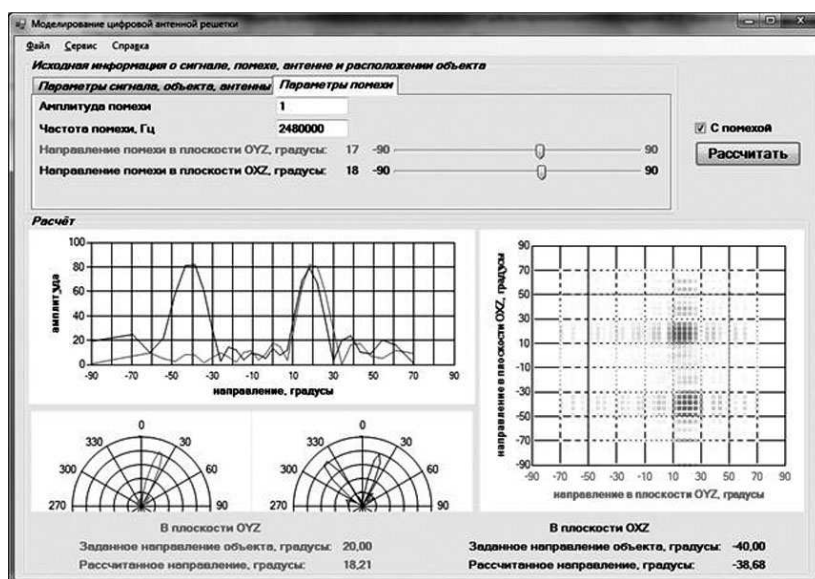


Рисунок 2. Результаты при различии частот сигнала и помехи на 20 кГц

Теперь рассмотрим случай при одинаковой частоте, но при разной амплитуде сигнала и помехи. Если амплитуда помехи составляет 90 % от амплитуды сигнала, то сигнал различим на фоне помехи. Программа определила направление на объект верно, это видно из сравнения заданного направления объекта и рассчитанного (рис. 3).

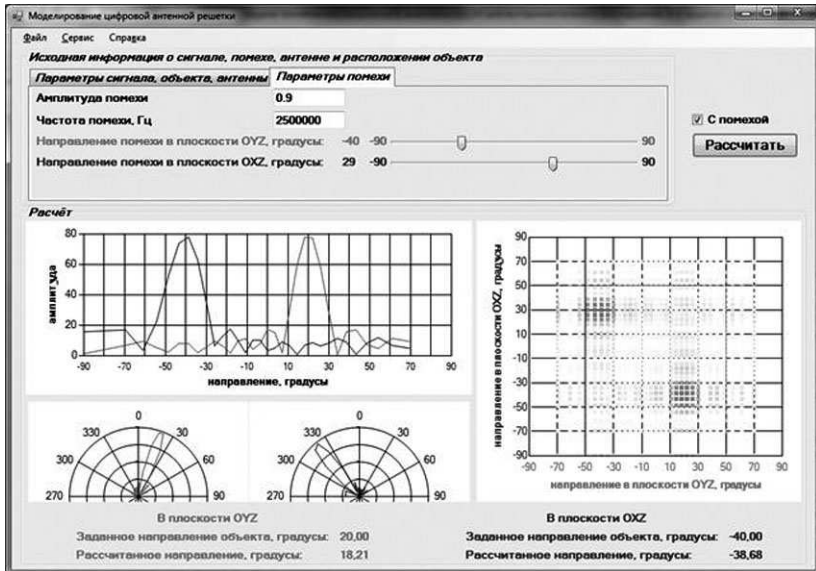


Рисунок 3. Амплитуда помехи составляет 90 % от амплитуды сигнала

Из теории о ЦАР, для получения узких ДН необходимо увеличивать длину антенны Nd . Но так как расстояние между излучателями должно быть меньше длины волны генератора (для получения одного главного максимума излучения), повышения направленности добиваются увеличением числа излучателей решётки N . Таким образом, можно проследить выполняется ли это характеристика в программе. Примем, что исходная решетка состоит из 9×9 излучателей, и затем увеличим матрицу до 25×25 и сравним полученные результаты от двух решеток, должно выполняться условие — чем больше излучателей в решетке, тем уже лепесток ДН. Результаты расчетов представлены на рисунках 4 и 5, на них видны существенные различия в ширине ДН. Это изменение ширины ДН полностью соответствует теории о ЦАР.

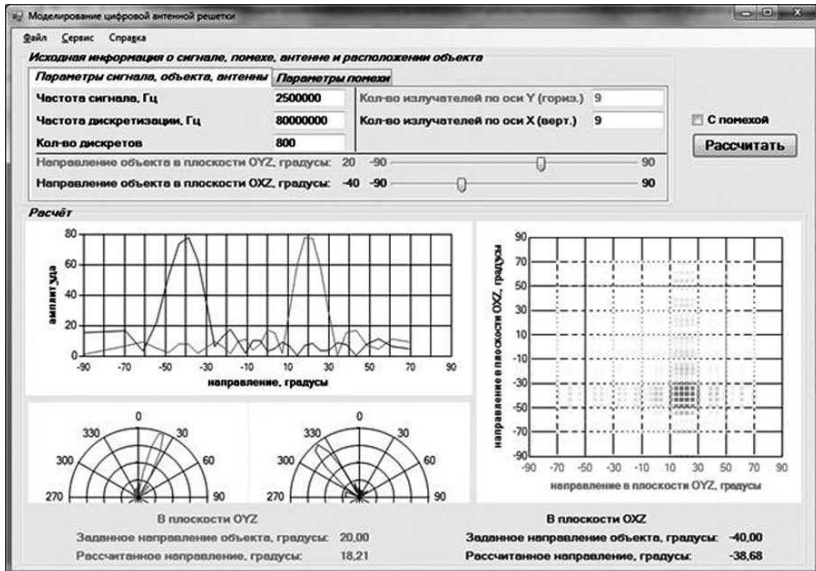


Рисунок 4. ДН решетки из 9×9 излучателей

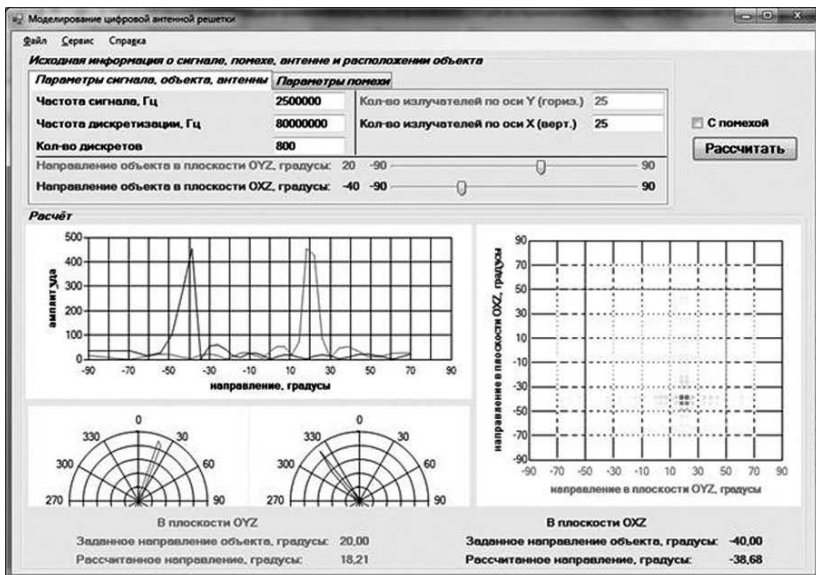


Рисунок 5 ДН решетки из 25×25 излучателей

Чтобы увеличить точность определения направления объекта можно увеличить частоту дискретизации f_d . При этом увеличивается количество рассчитываемых ДН, что следует из (12) и (13). Увеличение количества рассчитываемых ДН пропорционально увеличению частоты дискретизации f_d . Сравним рисунки 4 и 6, где все исходные параметры одинаковы, кроме значения частоты дискретизации. Видно, что при заданном угле -40 рассчитанный угол в плоскости OXZ при увеличенной частоте дискретизации до 200 МГц равен -40.54 , а при частоте 80 МГц равен -38.68 . Из этого следует, что точность определения направления объекта увеличивается вместе с увеличением частоты дискретизации.

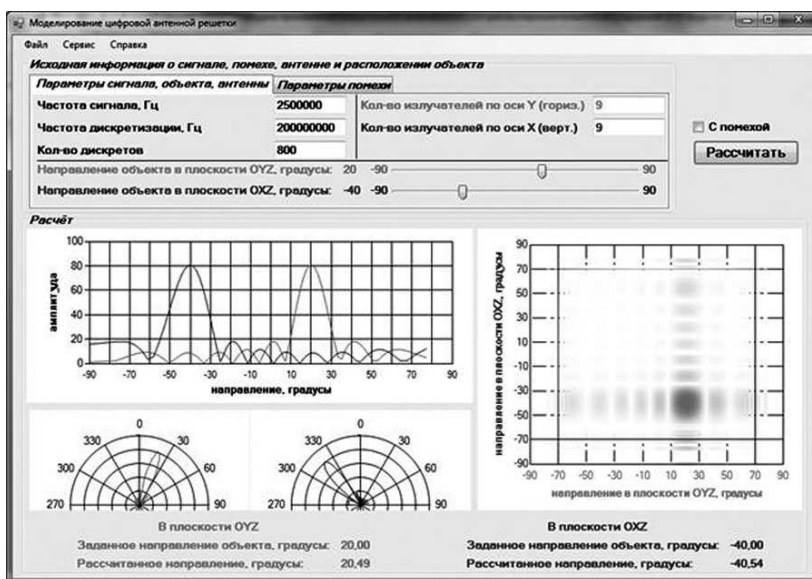


Рисунок 6 Увеличение частоты дискретизации до 200 МГц

Программа позволяет сохранить полученные результаты, также есть возможность просмотреть справку по работе с программой.

Выводы

1. В ходе исследования была разработана программа, позволяющая на фоне помехи обнаружить объект и определить направление на него.

2. Программа дает результаты, полностью сравнимые с результатами обработки сигналов, которая применима сегодня в

аппаратных комплексах. Полученные результаты работы программы показывают, что она позволяет обнаружить объект и его изобразить.

3. Запись сигнала происходит гораздо быстрее, а значит за это короткое время погрешность, возникающая, если объект колеблется или перемещается, почти не накапливается.

4. Алгоритм разработанной программы по нахождению и формированию изображения объекта может быть применим в гидроакустических комплексах с аппаратной обработкой.

Список литературы:

1. Гениатулин К. А., Носов В. И. Планирование систем спутниковой связи с зональным обслуживанием // Вестник СибГУТИ, — 2009, — № 4, — С. 11—22.
2. Григорьев Л. Н. Цифровое формирование диаграммы направленности в фазированных антенных решетках. — М.: Радиотехника, 2010, — 144 с.
3. Кочетков В. Ю. Структура канальных трактов цифровых антенных решеток// Известия вузов. ЭЛЕКТРОНИКА, № 5(79), 2009, С. 66—69.
4. Майзельс Е. Н., Торганов В. А. Измерение характеристик рассеяния радиолокационных целей. — М.: Советское радио, 1972, — 232 с.
5. Семин А. И., Трофимов В. Н. Масштабное физическое гидроакустическое моделирование радиолокационных систем получения и обработки радиолокационных изображений высокого разрешения // Известия Российской академии наук. Теория и системы управления, № 3, 2005, С. 147—157.
6. Смартышев М. Д. Направленность гидроакустических антенн. — Л.: Судостроение, 1973, — 279 с.
7. Штагер Е. А. Рассеяние радиоволн на телах сложной формы. — М.: Радио и связь, 1986. — 184 с.

СЕКЦИЯ 4.

ИНФОРМАТИКА, ВЫЧИСЛИТЕЛЬНАЯ ТЕХНИКА И УПРАВЛЕНИЕ

ПОДГОТОВКА МАССИВА ДАННЫХ СЛУЧАЙНЫХ ПЕРЕМЕННЫХ СЛОЖНОГО ОБЪЕКТА УПРАВЛЕНИЯ

Адамбаев Мурат Джамантаевич

*канд. техн. наук, профессор КазНТУ имени К. И. Сатпаева,
г. Алматы, Казахстан
E-mail: adambaev_m@mail.ru*

Магденова Индира Жакашовна

*магистрант кафедры ЭиАТК КазНТУ имени К. И. Сатпаева,
г. Алматы, Казахстан
E-mail: indoka_89@mail.ru*

Основным этапом синтеза системы автоматического управления является идентификация объекта управления [8]. Известны методы аналитического и экспериментального определения характеристик объектов управления. Применение аналитических методов для идентификации современных сложных объектов автоматизации, характеризующихся многообразием взаимосвязанных параметров, в значительной мере затруднительно. Известные экспериментальные методы определения характеристик связаны с подачей на вход объекта типовых воздействий (ступенчатого, гармонического и т. п.). В последние годы получили широкое распространение для идентификации сложных многосвязных объектов управления статистические методы исследований [2, 4, 6, 13].

Например, случайные возмущения, действующие на измельчительный агрегат в реальных производственных условиях (изменение характеристик исходного сырья, старение и износ технологического оборудования, помехи в измерительных устройствах и т. п.), обуславливают стохастический характер связи между входными и выходными переменными объекта. Аналитически эти уравнения взаимосвязи представляются корреляционными, дисперсионными соотношениями, уравнениями регрессии. Полное описание свойств

объекта задается условными плотностями вероятностей выходных сигналов при известных входных и вероятностными характеристиками входных возмущений [1, 11].

В условиях нормального функционирования сложного объекта, когда уровень шумов измерений входных и выходных переменных является значительным и сам объект представляется «шумящим», возникает задача выделения из множества взаимосвязанных входных переменных наиболее информативных относительно выходных переменных. С другой стороны реальные объекты в общем случае являются нестационарными, что значительно усложняет их исследование [5].

Как указано в [7], точное описание процессов, протекающих в мельнице, строго говоря, требует получения систем дифференциальных уравнений в частных производных с граничными условиями, учитывающих загрузку, выгрузку измельченного материала, влияние межкамерных перегородок, случайных нелинейных зависимостей с большим числом переменных, учета ряда технологических параметров, кинетики измельчения и т. д. Однако такой подход не является конструктивным и не может на современном этапе развития теории и практики управления привести к разумным техническим решениям, удовлетворяющим требованиям производства. Кроме того, из-за значительных случайных возмущений и погрешностей измерения точное получение математической модели является практически неразрешимой задачей. Поэтому в настоящее время для исследования сложных технологических процессов получили широкое развитие методы статистического анализа [3, 10, 12, 14].

К системе автоматического регулирования процесса сухого двухстадийного измельчения предъявляется основное требование, заключающееся в стабилизации покамерной загрузки мельницы на заданном уровне. Выходные величины, подлежащие регулированию ($M_I(t)$, $M_{II}(t)$), (рис. 1), контролируются по промежуточным регулируемым величинам - звукометрическим сигналам камер — $Z_I(t)$ и $Z_{II}(t)$. Регулирующими воздействиями являются:

- для камеры крупного помола — величина исходного питания $Q_n(t)$;
- для камеры мелкого помола — часть циркулирующей нагрузки $K_2S(t)$, перераспределяемой распределительным органом РО.

Входом последнего является некондиционный по крупности класс внутримельничной нагрузки, отклассифицированной сепаратором С.

Основным возмущением для камеры крупного помола является величина $K_1S(t)$. Неконтролируемые возмущения, вызывающие

колебания выходных величин, подразделяются на два типа. Одни влияют как на $M_I(t)$, $M_{II}(t)$, так и на $Z_I(t)$ и $Z_{II}(t)$ - $f_1(t) - f_2(t)$, другие $\lambda_1(t)$ и $\lambda_2(t)$ влияют только на выходные величины.

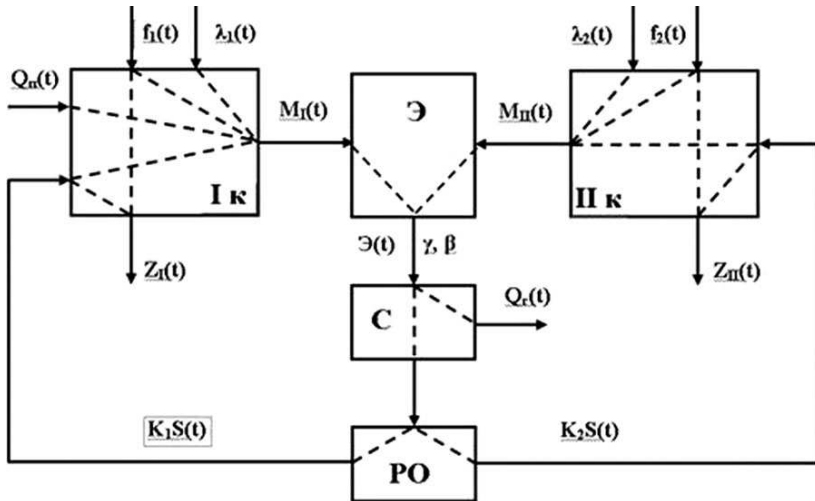


Рисунок 1. Взаимодействие переменных объекта

Стабилизация управляемых координат процесса измельчения может быть осуществлена на основе применения системы автоматического управления, разработка которого требует знания статических и динамических характеристик объекта управления.

Это стало возможным после внедрения системы автоматического контроля покамерной и суммарной загрузок мельницы. Внедренная система позволяет контролировать такие основные параметры объекта, как уровни загрузки камер крупного и мелкого помолов, а также суммарную нагрузку мельницы по нагрузке ковшевого элеватора. Для данных исследований дополнительно производился контроль производительности тарельчатого питателя по частоте его вращения. Методом ручного пробоотбора и использования гранулометрических характеристик измельченного продукта на выходе мельницы определялись процентные содержания некондиционного класса («крупки») и готового класса.

На рис. 2 показана технологическая схема измельчения, на которой указаны параметры, подлежащие контролю, и используемые для получения статистических уравнений взаимосвязи переменных объекта.

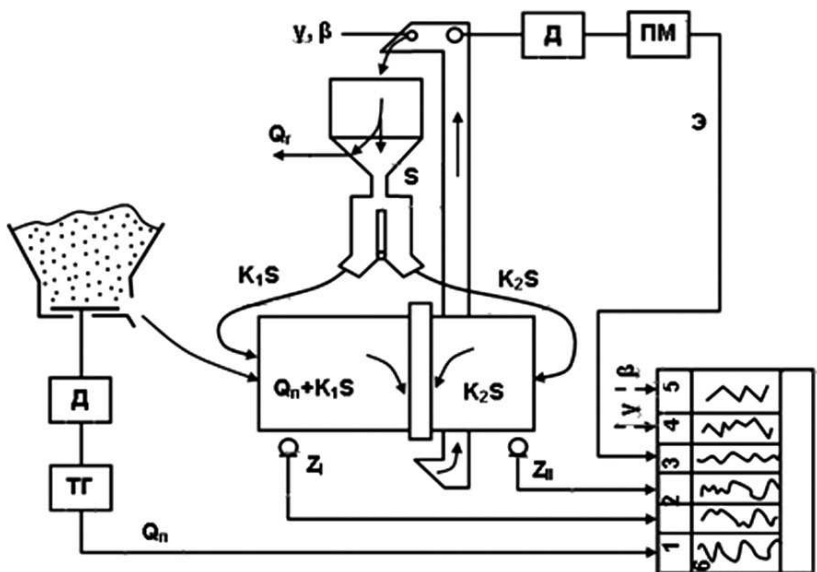


Рисунок 2. Схема регистрации переменных объекта

Для определения основных стохастических связей между параметрами объекта получены случайные реализации:

$Z_I(t)$ — звукометрического сигнала камеры крупного помола (запись автоматическая);

$Z_{II}(t)$ — звукометрического сигнала камеры мелкого помола (запись автоматическая),

$Q_n(t)$ — величины исходного питания (запись автоматическая);

$\mathcal{E}(t)$ — нагрузка ковшевого элеватора (запись автоматическая);

$\beta(t)$ — изменения «крупки» в единице веса разгрузки мельницы (определяется по ситовым характеристикам);

$\gamma(t)$ — изменения вновь образованного класса в единице веса разгрузки мельницы (определяется по ситовым характеристикам);

$S(t)$ — циркулирующей нагрузки (определяется по данным [6]);

$Q_r(t)$ — величины готовой продукции (определяется по данным [13]).

Случайные реализации параметров параметры $Z_I(t)$, $Z_{II}(t)$, $Q_n(t)$, $\mathcal{E}(t)$ записываются на шеститочечном потенциометре (см. рис. 2), а кривые реализации параметров $\beta(t)$, $\gamma(t)$, $S(t)$ и $Q_r(t)$ — получаются наложением на эту диаграмму дискретных значений указанных переменных.

Для статистической обработки полученных реализаций необходимо обоснованно выбрать время продолжительности реализации T и интервал дискретизации Δt . В данной работе предлагается уточненный метод их выбора, позволяющий получить адекватный дискретный массив данных для использования стандартных программ.

Для выбора T используются автокорреляционные функции $R_{xx}(\tau)$ переменных объекта (рис. 3), по которым определяется время затухания каждой из автокорреляционной функции, равное отрезку времени, вне которого справедливо неравенство:

$$R_{xx}(\tau) \leq 0.05 \cdot R_{xx}(0) \quad (1)$$

Продолжительность случайных реализаций переменных объекта принята больше максимальной величины времени затухания τ_{\max} . Но, с учетом формулы для определения T , предложенной в [14], окончательно принимают:

$$T = 10\tau_{\max} \quad (2)$$

Для объекта имеем: $T=10 \cdot 22 \text{ мин} = 220 \text{ мин}$ «4 часа (рис. 3).

Интервал дискретизации или квантования осциллограмм выбирается для наиболее высокочастотного параметра. Непрерывная функция $x(t)$ с ограниченным частотным спектром квантуется последовательностью X_1, X_2, \dots, X_n с интервалом равным

$$\Delta t = 1/2\Delta f \quad (3)$$

Количество интервалов n на осциллограмме определяется по формуле:

$$n = T/\Delta t = 2t \cdot \Delta f \quad (4)$$

На кривой измеряется наибольший и наименьший периоды колебаний и по ним определяется разность частот $\Delta\omega = \omega_{\max} - \omega_{\min}$ по формуле:

$$\Delta\omega = 2\pi \left(\frac{1}{T_{\min}} - \frac{1}{T_{\max}} \right) = 2\pi \frac{T_{\max} - T_{\min}}{T_{\max} \cdot T_{\min}} \quad (5)$$

Принимая $\Delta\omega \approx \Delta f$ и подставляя данные $\Delta\omega$ в формулу (4), определяют величину n по формуле:

$$n = \frac{4\pi \cdot T \cdot (T_{\max} - T_{\min})}{T_{\max} \cdot T_{\min}} \quad (6)$$

Для выбранной реализации $Z_1(t)$ имеем:

$T=240 \text{ мин}$; $T_{\max}=60 \text{ мин}$; $T_{\min}=20 \text{ мин}$.

Тогда по формуле (6) вычисляем:

$$n = \frac{4 \cdot 3,14 \cdot 240 \cdot (60 - 20)}{60 \cdot 20} = 100,5$$

Увеличивая на 15 % полученное n для учета неравномерности частотной характеристики кривой имеем: $n=100,5 \cdot 1,15=116,2$. Окончательно n принимаем равной 120. Тогда интервал дискретизации получается равным: $\Delta t=240/120=2$ мин.

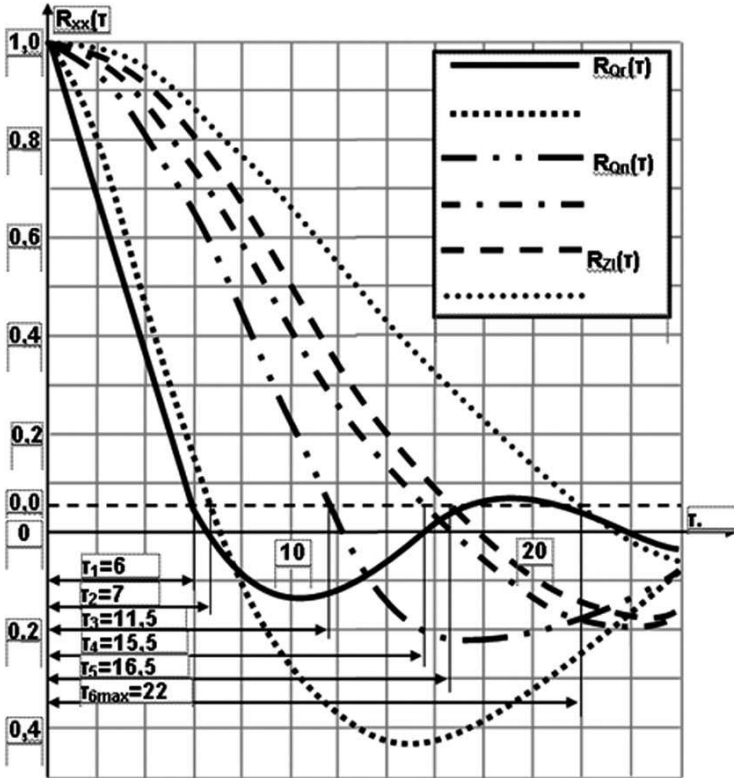


Рисунок 3. Автокорреляционные функции переменных объекта

Получены дискретные значения случайных реализаций переменных объекта с интервалом квантования 2 минуты, которые использованы для вычисления уравнений их взаимосвязи с применением ЭВМ по стандартным программам математического обеспечения ЭВМ — СПО103, SPSS-12 [1].

Список литературы:

1. Адамбаев М. Д. Автоматическое управление процессами сухой рудоподготовки. — Алматы: Комплекс, 2004, 163 с.
2. Адамбаев М. Д. Математические методы идентификации. Учебник. — Алматы: Комплекс, 2005, 179 с.
3. Адамбаев М. Д. Метод идентификации стохастических объектов управления // Вестник КазНУ. Серия «Математика, механика, информатика» № 4 (59). — Алматы: КазНУ, 2008, С. 205—208.
4. Адамбаев М. Д. Определение динамической структуры и параметров промышленных объектов управления. Научное издание (монография). — Алматы: TST-Company, 2010, 259 с.
5. Алиев Р. А. Промышленные инвариантные системы автоматического управления. — М.: Энергия, 1971, 112 с.
6. Балакирев В. С., Дудников Е. Г., Цирлин А. М. Экспериментальное определение динамических характеристик промышленных объектов управления. — М.: Энергия, 1967, 230 с.
7. Живоглядов В. П. Адаптация в автоматизированных системах управления технологическими процессами. — Фрунзе: Илим, 1974, 226 с.
8. Исследование и оптимизация стохастических распределительных систем / Под ред. В. П. Живоглядова. — Фрунзе: Илим, 1971, 124 с.
9. Кошарский Б. Д., Ситковский А. Я., Красномовец А. В. Автоматизация управления обогатительными фабриками. — М.: Недра, 1977, 524 с.
10. Музмишвили А. И. Способ наименьших квадратов. — М.: Недра, 1968, 96 с.
11. Райбман Н. С., Чадеев В. М. Адаптивные модели в системах управления. — М.: Советское радио, 1966, 159 с.
12. Рыжов П. А. Математическая статистика в горном деле. — М.: Высшая школа, 1971, 287 с.
13. Щупов Л. П. Прикладные математические методы в обогащении полезных ископаемых. — М.: Недра, 1972, 168 с.
14. Яноши Л. Теория и практика обработки результатов измерений. — М.: Мир, 1968, 462 с.

МОДЕЛИРОВАНИЕ ПРОЦЕССА ИСПАРЕНИЯ УГЛЕВОДОРОДОВ НЕФТИ ПРИ НАПОЛНЕНИИ РЕЗЕРВУАРА

Базил Гульмира Дуйсенбеккызы

преподаватель КазНТУ им. К. И. Сатпаева, г. Алматы, Казахстан

E-mail: bazilg@bk.ru

При хранении легкоиспаряющихся жидкостей в резервуарах различают два основных вида потерь — это потери от так называемых «малых дыханий» и «больших дыханий». Кроме того, имеются потери от «обратного выдоха», и от вентиляции газового пространства резервуаров.

Потери от испарения происходят главным образом при хранении в резервуарах нефти и легкоиспаряющихся нефтепродуктов, представляющих собой сложные смеси весьма большого числа индивидуальных углеводородных компонентов. [1, с. 175].

Динамику испарения углеводородов с открытой поверхности нефти в резервуаре можно описать в виде численной модели процесса испарения при «больших дыханиях» во время наполнения резервуара. [2, с. 15].

Скорость испарения углеводородов равна разности скорости перехода молекул из жидкости в газ $V_{перех}$, и скорости конденсации $V_{конд}$ (переход молекул из газа в жидкость) паров:

$$V_{исп} = V_{перех} - V_{конд} \quad (1)$$

В течение некоторого промежутка времени скорость конденсации пара будет пропорциональна его плотности $V_{ейя} \sim \rho_{яда}$ и, следовательно, с учетом скорости насыщения пара, уместно ввести определяемый опытным путем коэффициент скорости k :

$$V_{конд} = k\rho_{пара} \quad (2)$$

За некоторый промежуток времени плотность паров углеводородов под крышей резервуара станет достигать предельного значения насыщенности, пропорциональной скорости испарения:

$$V_{исп} = k\rho_{нас.пара} \quad (3)$$

Массу испарившихся паров углеводородов m с поверхности нефти S можно представить следующей формулой:

$$m = kS(\rho_{нас.пара} - \rho) \quad (4)$$

Откуда плотность ρ выражается как

$$\rho = \frac{m}{V} \quad (5)$$

Так как плотность паров углеводородов изменяется во времени, продифференцируем обе части уравнения:

$$d\rho = \frac{dm}{V} \quad (6)$$

В правую часть подставим значение массы из формулы (4), и, решая уравнение (6), получим значение плотности паров углеводов (7), изменяющееся во времени:

$$\begin{aligned} d\rho &= -\frac{kS(\rho_{i\bar{a}\bar{n}} \cdot i\bar{a}\bar{d}\bar{a}}{V} dt \\ d\rho &= -\frac{kS\rho_{i\bar{a}\bar{n}} \cdot i\bar{a}\bar{d}\bar{a} (1 - \frac{\rho}{\rho_{i\bar{a}\bar{n}} \cdot i\bar{a}\bar{d}\bar{a}})}{V} dt \\ \frac{d\rho}{(1 - \frac{\rho}{\rho_{i\bar{a}\bar{n}} \cdot i\bar{a}\bar{d}\bar{a}})} &= -\frac{kS\rho_{i\bar{a}\bar{n}} \cdot i\bar{a}\bar{d}\bar{a} dt}{V} \\ \ln(1 - \frac{\rho}{\rho_{i\bar{a}\bar{n}} \cdot i\bar{a}\bar{d}\bar{a}}) &= -\frac{kS\rho_{i\bar{a}\bar{n}} \cdot i\bar{a}\bar{d}\bar{a} t}{V} \\ 1 - \frac{\rho}{\rho_{i\bar{a}\bar{n}} \cdot i\bar{a}\bar{d}\bar{a}} &= e^{-\frac{kS\rho_{i\bar{a}\bar{n}} \cdot i\bar{a}\bar{d}\bar{a} t}{V}} \\ \frac{\rho}{\rho_{нас.пара}} &= 1 - e^{-\frac{kS\rho_{нас.пара} t}{V}} \\ \rho &= \rho_{нас.пара} (1 - e^{-\frac{kS\rho_{нас.пара} t}{V}}) \quad (7) \end{aligned}$$

Формула (7) представляет собой экспоненциальную зависимость плотности паров углеводородов от времени.

Численное моделирование процесса наполнения нефтяного резервуара проиллюстрируем на примере вертикального стального

резервуара без понтона (РВС-20000) резервуарного парка нефтеперекачивающей станции, объемом 20000 м³ и площадью поверхности испарения 1698 м², скоростью наполнения и опорожнения нефтью 4000 м³/ч. Плотность насыщенных паров примем равной 300 г/м³. Предположим что время полного насыщения, т. е. до 99 % парами углеводородов газозоудного пространства над поверхностью нефти в резервуаре равно 1 часу.

Теоретически вычисляется коэффициент скорости k .

Для времени $t=1$ час по формуле (7):

$$\rho = \rho_{\text{нас.пара}} \left(1 - e^{-\frac{kS\rho_{\text{нас.пара}}t}{V}}\right)$$

$$0,99\rho_{\text{нас.}} = \rho_{\text{нас.}} \left(1 - e^{-\frac{kS\rho_{\text{нас.пара}}t}{V}}\right)$$

$$0,99 = 1 - e^{-\frac{kS\rho_{\text{нас.пара}}t}{V}}$$

$$e^{-k \cdot 25,47} = 0,01$$

$$-k \cdot 25,47 = \ln 0,01$$

$$-k \cdot 25,47 = -4,605$$

$$k = 0,18$$

Далее для сравнительного анализа процесса испарения при различных времен хранения аналогичным способом рассчитываем коэффициенты скорости времени насыщения парами углеводородов за 2, 4, 8 и 24 часа:

Таблица 1

Коэффициенты скорости для различных времен

$t, \text{ч}$	1	2	4	8	24
$k, \text{м/с}$	0,181	0,091	0,045	0,023	0,0075

Принимая вышеизложенное можно рассчитать изменение плотности паров углеводородов над «зеркалом» за текущее время $t_{\text{ддд}}$ и построить график экспоненциальной зависимости плотности насыщения от времени.

Таблица 2

Зависимость плотности насыщения паров углеводородов от времени

Текущее время, ч	Плотность паров, г/м ³				
	<i>k</i> , м/с				
	0,181	0,091	0,045	0,023	0,0075
0,01	13,50167	6,828549	3,433928	1,721905	0,57507
0,05	61,69922	32,62342	16,78105	8,511261	2,864348
0,1	110,7091	61,69922	32,62342	16,78105	5,701348
0,15	149,6395	87,61317	47,57962	24,81622	8,511261
0,2	180,5632	110,7091	61,69922	32,62342	11,29434
0,25	205,1271	131,2935	75,02901	40,20913	14,05086
0,3	224,639	149,6395	87,61317	47,57962	16,78105
0,4	252,4495	180,5632	110,7091	61,69922	22,16348
0,5	269,9971	205,1271	131,2935	75,02901	27,44362
0,6	281,0691	224,639	149,6395	87,61317	32,62342
0,8	292,4632	252,4495	180,5632	110,7091	42,68956
1	296,9994	269,9971	205,1271	131,2935	52,37674
1,5	299,5244	288,0552	240,1381	165,9904	70,67072
2	299,97	296,9994	269,9971	205,1271	95,60907
2,5	300	299,0511	283,1277	228,8545	114,3065
3		299,6999	290,5118	246,6477	131,2935
3,5		299,9051	294,6643	259,991	146,7266
4		299,97	296,9994	269,9971	160,7478
4,5		300	298,3126	277,5007	173,4864
5			299,0511	283,1277	185,0597
6			299,6999	290,5118	205,1271
8			299,97	296,9994	235,3628
10			300	299,0511	255,9625
12				299,6999	269,9971
14				299,9051	279,5589
16				299,97	286,0734
20					293,5356
30					299,0511
40					299,8607
50					299,97

По полученным расчетным данным достаточно четко прослеживается кинетика испарения углеводородов с поверхности нефти внутри резервуара: чем дольше нефть храниться в резервуаре, тем больший объем паров углеводородов испарится, это так же прослеживается на нижеприведенных графиках зависимости плотности насыщения паров от времени.

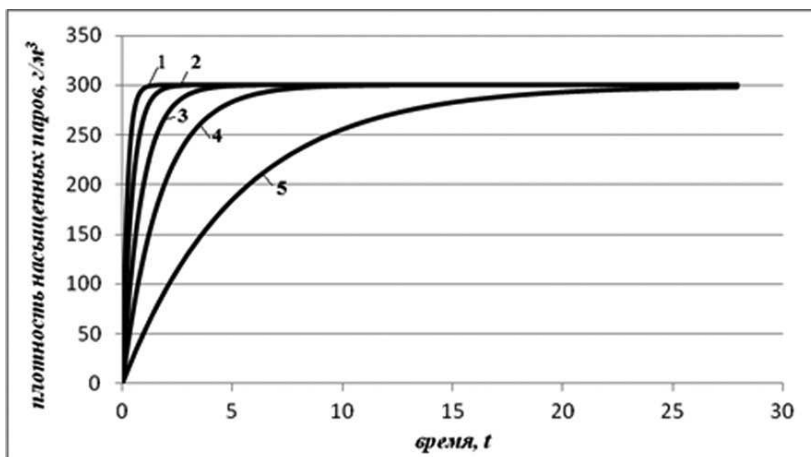


Рисунок 1. Зависимости плотности насыщения паров от времени при различных коэффициентах скорости k: 1 — при $k=0,181$; 2 — при $k=0,091$; 3 — при $k=0,45$; 4 — при $k=0,23$; 5 — при $k=0,0075$

Используя программный пакет Matlab, для нахождения передаточной функции по данным, приведенным в таблице 1, выполняем аппроксимацию и получаем кривую (рисунок 2).

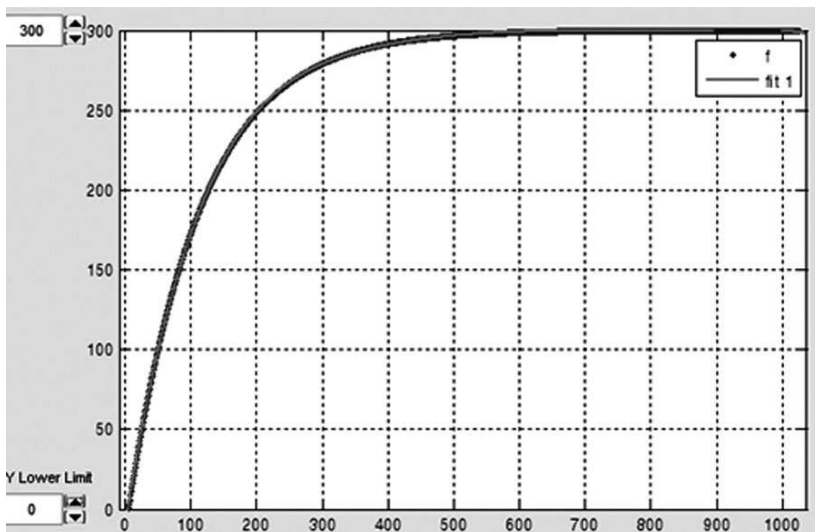


Рисунок 2. Аппроксимированная кривая зависимости плотности насыщения паров от времени

С помощью данной кривой находим передаточную функцию:

$$W(s) = \frac{k}{(T_1s + 1)(T_2s + 1)} \quad (9)$$

В этой же программе, выполнив процедуру идентификации, находим коэффициенты пропорциональности и времени передаточной функции (рисунок 3).



Рисунок 3. Передаточная функция и значения коэффициентов

В итоге передаточная функция приобретает следующий вид:

$$W(s) = \frac{11,05}{(2,05s + 1)(1,91s + 1)}$$

Далее строим переходную (при ступенчатом воздействии) и амплитудно-фазовую характеристики (рисунок 4), где видно, что наша модель является устойчивой.

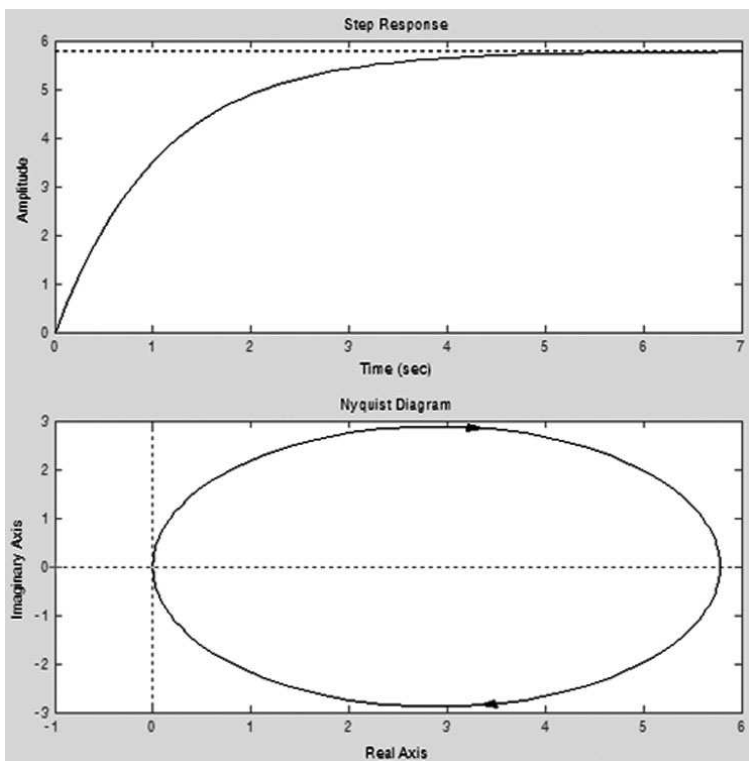


Рисунок 4. Переходная и АФ характеристики

Таким образом также можно получить модели испарения при опорожнении — «обратном выдохе», хранения — «малых дыханиях» и вентиляции. Далее, объединив все полученные модели в единую систему, можно получить общую картину потерь углеводородов нефти при эксплуатации резервуарного парка, что позволит рационально управлять работой резервуаров.

Список литературы:

1. Бунчук В. А. Транспорт и хранение нефти, нефтепродуктов и газа: М., Недра, 1977. — 366 с.
2. Васильев А. О. Чартий П. В. Моделирование и оптимизация работы нефтяных резервуаров, оснащенных средствами сокращения выбросов углеводородов. [электронный ресурс] — Режим доступа. — URL: <http://bashexpert.ru/konkurs/2008/one/proekt13.pdf>

ОЦЕНКА ЭФФЕКТИВНОСТИ БИЗНЕС-ПРОЦЕССОВ В ИНФОРМАЦИОННО-СОВЕТУЮЩИХ СИСТЕМАХ АГРОПРОМЫШЛЕННОГО КОМПЛЕКСА

Гайрабекова Тамара Израиловна

ст. преподаватель, Чеченский государственный университет,

г. Грозный

E-mail: sti_ing@mail.ru

Квятковская Ирина Юрьевна

д-р. техн. наук, профессор Астраханского государственного

технического университета, г. Астрахань

E-mail: i.kvyatkovskaya@astu.org

Диверсификация структур региональной экономики привела к объединению пространственно распределенных участников, представленных малыми и средними фирмами. Для агропромышленного комплекса цель объединения — необходимость исполнения сквозного бизнес-процесса по производству сельскохозяйственной продукции, интегрирующего систему логистических бизнес-процессов наряду с их идентификацией и взаимодействием. При процессном подходе объектом автоматизации становятся не выполняемые отдельные функции, а сквозные бизнес-процессы.

Среди задач оценивания эффективности бизнес-систем комплекса выделяют структурированные и слабоструктурированные задачи. Структурированные задачи имеют достаточно хорошо проработанные механизмы решения, поэтому особый интерес представляют слабоструктурированные задачи, решаемые при помощи информационно-советующих систем АПК среди которых:

- оценка эффективности объектов одного класса, сегментируемых в АПК (например, производителей, видов с/х продукции);
- оценка эффективности подпроцессов сквозного бизнес-процесса;
- оценка эффективности альтернативных подпроцессов одного функционального действия.

Отличительной особенностью данных задач является наличие экспертных оценок; использование неоднородных шкал для оценивания; отсутствие методик формирования комплексного показателя. Частные показатели, определяемые экспертными группами или отдельными экспертами, в свою очередь могут содержать избыточность или неполноту в представлении, вызывающую

отсутствие синергетического эффекта в оценке системы в целом. При определении показателей рекомендуется их сведение до управляемого набора путем следующих операций [1]:

- агрегирование;
- сжатие — определение показателя, явно отражающего определенную характеристику БП, вне промежуточных показателей;
- выявление слабого звена;
- вычисление среднего значения для корзины (группы из нескольких показателей);
- вычисление минимального значения корзины;
- формирование репрезентативного показателя — переменной, обеспечивающей надежную информационную характеристику состояния всей системы.

На основании процессного подхода к принятию решения потребуем, чтобы результирующий показатель оценивал конечную эффективность бизнес-процесса или бизнес-системы, кооперируя эффект при достижении глобальной цели. Результирующий показатель представим в двух формах: в виде вектора репрезентативных показателей БП, либо в виде скалярной комплексной оценки:

1. Формирование *репрезентативных показателей* эффективности функционирования сквозного БП предполагает представление его в целом как системы, с использованием оценок для двух групп факторов — m_1 параметров внутренней среды (эндогенных параметров) $FX_1, FX_2, \dots, FX_{m_1}$, и m_2 параметров внешней среды (экзогенных параметров) $FY_1, FY_2, \dots, FY_{m_2}$: $R(FX_1, FX_2, \dots, FX_{m_1}, FY_1, FY_2, \dots, FY_{m_2})$. Примером такой оценки является оценка деятельности агропромышленного комплекса внешней макросистемой.

К репрезентативным характеристикам могут относиться такие показатели, как инвестиционная деятельность, производственная структура, ресурсный потенциал, конкурентоспособность, финансово-экономические показатели, влияние развития АПК на развитие территории, конкурентоспособность продукции и пр.

2. *Агрегированная комплексная оценка* эффективности сквозного БП формируется в зависимости от оценок составляющих его частных подпроцессов, либо объектов.

Представим теоретико-множественное описание БП в виде:

$$Proc = \{PR, OBJ, RES, Logic, REL\}, \quad (1)$$

где PR — множество подпроцессов преобразования ресурсов RES , исполняемых множеством участников OBJ ; $Logic$ — логистическая цепочка, определяющая технологический порядок следования подпроцессов, связи между которыми определены на

множестве отношений REL , включающих «следует», «включает», «является источником информации» и др.

В зависимости от полноты имеющейся информации одно или несколько множеств могут быть пустыми. Например, в случае, когда $Logic=\emptyset$, $OBJ=\emptyset$, $RES=\emptyset$, $REL=\emptyset$, $Proc$ описан лишь множеством n связанных подпроцессов Pr_1, Pr_2, \dots, Pr_n , назначением которых является оказание услуги, выпуск продукции или отдельных ее элементов, без определения порядка их следования, т. е. указания структуры:

$$Proc = \{Pr_1, Pr_2, \dots, Pr_n\}. \quad (2)$$

В другом случае, когда имеется информация только об участниках, т. е. выполнение каждого подпроцесса Pr_i обеспечивает $OBJ^i \subseteq OBJ$ — подмножества из K_i участников i -го подпроцесса $Obj^i_1, \dots, Obj^i_{K_i} \in OBJ^i$, расширением (2) может являться:

$$Proc = \{PR, OBJ\},$$

$$OBJ = \{\{Obj^1_1, \dots, Obj^1_{K_1}\} Pr_1, \dots, \{Obj^n_1, \dots, Obj^n_{K_n}\} Pr_n\}. \quad (3)$$

Для комплексного показателя, имеющего количественное измерение достигаемой цели, в качестве критерия эффективности принимается либо единый результирующий показатель, либо множество частных критериев эффективности, либо общие критерии эффективности с ограничениями. При наличии группы частных критериев комплексный показатель представим либо в векторном виде, либо в виде скалярной оценки, полученной путем свертки критериев в один.

Если множество допустимых оценок для каждого БП определено на E_i , частные критерии эффективности $f(Pr_i)$ представлены в виде скалярной оценки, выполненной в единой шкале измерений. Их свертывание возможно следующими способами:

а) Аддитивная (линейная) свертка.

$$f(Proc) = \sum_{i=1}^n \lambda_i f(Pr_i), \quad \sum_{i=1}^n \lambda_i = 1. \quad (4)$$

где λ_i — значимость частного подпроцесса Pr_i , $f(Pr_i)$ — оценка эффективности i -го БП.

б) Мультипликативная свертка:

$$f(Proc) = \prod_{i=1}^n f(Pr_i)^{\lambda_i}, \quad \sum_{i=1}^n \lambda_i = 1. \quad (5)$$

в) Если подпроцессы возможно упорядочить либо по времени или порядку появления, применяется способ последовательного достижения частных целей [2]: началу выполнения последующей

операции должны быть достигнуты оптимумы (максимумы или минимумы) предыдущих локальных операций. Обобщенный критерий определяется в виде:

$$f(Proc) = f(Pr_i) + \sum_{j=1}^{i-1} \sup f(Pr_j), (j \leq i-1), i = \overline{1, n}, \quad (6)$$

где $\sup f(Pr_j)$ — верхняя грань возможных значений частного критерия эффективности $f(Pr_j)$.

2.1.2. Если множество допустимых оценок для каждого БП определено на E_m , эффективность каждого БП определяет совокупность m критериев

$$\{k_1^i, \dots, k_m^i\}; f(Pr_i) = (k_1^i, \dots, k_m^i).$$

Для их свертывания применима максиминная (минимаксная) свертка:

$$f(Proc) = \max_{i=1, n} (\min_{j=1, m} (k_j^i)), \quad f(Proc) = \min_{i=1, n} (\max_{j=1, m} (k_j^i)). \quad (7)$$

2.2. Для комплексного показателя, отождествляемого с достижением *качественной* цели (например: продукция прошла весь технологический цикл и передана потребителю), определяется критерий эффективности бинарного типа:

$$R = f(Proc) = \begin{cases} 1 - \text{цель достигнута} , \\ 0 - \text{цель не достигнута} \end{cases}. \quad (8)$$

$f(Proc)$ определяется на основе достижения частных целей функционирования каждого подпроцесса: $\{f(Pr_1), f(Pr_2), \dots, f(Pr_n)\}$, где $f(Pr_i)$ — частная функция достижения цели i -го подпроцесса.

При формировании комплексного показателя агрегирование частных целей производится путем логического объединения целей, когда общий и частный критерии могут принимать значения 0 и 1, отождествляемые с бинарными признаками, т. е. $F(Pr), F(Proc) \in \{0, 1\}$:

- при наличии двух альтернативных целей, например, соответствующих состояниям БП Pr и \overline{Pr} , для цели, противоположной данной, критерий вычисляется по формуле:

$$f(\overline{Pr}) = 1 - f(Pr). \quad (9)$$

- если общая цель состоит в обязательном выполнении всех частных целей, соответствующих подпроцессам, то:

$$f(Proc) = \prod_{i=1}^n f(Pr_i). \quad (10)$$

• если общая цель состоит в выполнении хотя бы одной из частных целей, то:

$$f(Proc) = 1 - \prod_{i=1}^n (1 - f(Pr_i)). \quad (11)$$

В управлении АПК существует ряд задач, для которых необходим учет достижения запланированных показателей, учитывающих сроки завершения этапов производства и поставки с/х продукции, нормативы расходования материальных и финансовых ресурсов. При наличии системы индикаторов, измеряющих запланированное и фактическое состояние объекта управления, возможно формирование критерия эффективности, используемого для *управления по отклонениям*. Обозначим $\Delta f(Pr_i) = f_{\text{факт}}(Pr_i) - f_{\text{план}}(Pr_i)$, где $f_{\text{факт}}(Pr_i)$ — фактическое значение показателя, $f_{\text{план}}(Pr_i)$ — плановое значение показателя эффективности.

В этом случае на E_j может быть определена скалярная оценка в виде:

$$f(Proc) = \sum_{i=1}^n \lambda_i \cdot \Delta f(Pr_i), \quad \sum_{i=1}^n \lambda_i = 1, \text{ либо} \quad (12)$$

$$f(Proc) = \prod_{i=1}^n \Delta f(Pr_i)^{\lambda_i}, \quad (13)$$

Оптимальное значение $f(Proc)$ достигается при $f(Proc) \rightarrow \min$.

На E_m эффективность сквозного БП определяет векторная оценка: $f(Proc) = (\Delta f(Pr_1), \Delta f(Pr_2), \dots, \Delta f(Pr_n))$. (14)

Представление результирующего показателя БП в виде (12) — (14) позволяет в дальнейшем использовать методы теории выбора и принятия решений для отбора эффективных решений или отделения множества нехудших решений.

Список литературы:

1. Боссель Х. Показатели устойчивого развития: теория, метод, практическое использование. Отчет, представленный на рассмотрение Балатонской группы / Пер. с англ. — Тюмень: Изд-во ИПОС СО РАН, 2001. — 123 с.
2. Дубров А. М., Компонентный анализ и эффективность в экономике. М.: Финансы и статистика, 2002 — 352 с.

ТИПЫ АНОМАЛИЙ В ВИДЕОИЗОБРАЖЕНИЯХ

Гриценко Артем Владимирович

*аспирант, Ставропольский государственный университет,
г. Ставрополь*

E-mail: gart.stav@gmail.com

Введение. Под обнаружением аномалий понимается проблема нахождения данных, которые не удовлетворяют ожидаемому поведению. Эти несоответствующие образцы данных принято называть аномалиями, несоответствиями или отклонениями [1, с. 12]. Таким образом, аномалии — это образы данных, которые не подходят под точно определенное представление нормального поведения.

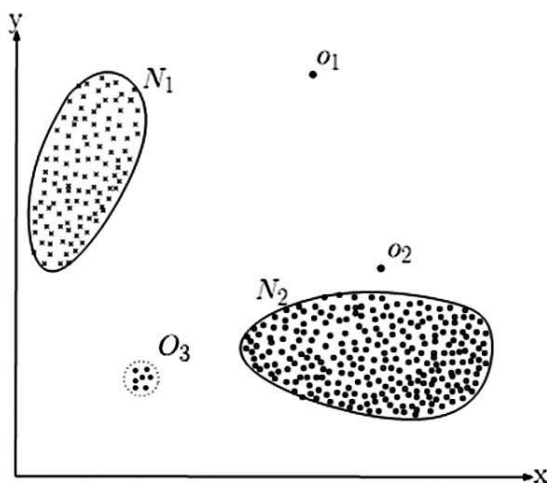


Рисунок 1. Простой пример аномалий в двумерном наборе данных

Рисунок 1 иллюстрирует аномалии в простом двумерном наборе данных. Данные имеют две нормальных области N_1 и N_2 , так как большая часть наблюдаемой выборки находится в этих двух регионах. Точки, которые достаточно сильно удалены от этих двух областей, например, O_1 , O_2 и O_3 , являются аномалиями. Важным аспектом метода определения аномалий в видеоизображениях является природа рассматриваемой аномалии. Все аномалии могут быть разделены на три типа: точечные, коллективные и контекстуальные аномалии.

Точечные аномалии. Если отдельный экземпляр данных может рассматриваться как аномальный по отношению к остальным данным, то такой экземпляр определяется как точечная аномалия. Это простейший тип аномалии и предмет исследования большинства работ по обнаружению аномалий.

Например, на рисунке 1 точки O_1 и O_2 , так же как и область O_3 лежат вне границ нормальных областей и поэтому являются точечными аномалиями, так как отличаются от нормальных данных. Примером из жизни может служить обнаружение мошенничества с кредитными картами. Пусть набор данных соответствует определенной транзакции с кредитной картой. Для простоты предположим, что данные однозначно определяются с помощью одной характеристики — потраченной суммы. Транзакция, для которой потраченная сумма относительно велика по сравнению с нормальным диапазоном трат для этого человека, является точечной аномалией.

Контекстуальные аномалии. Если экземпляр данных является аномальным лишь в определенном контексте, тогда он определяется как контекстуальная аномалия (также называемая условной аномалией) [7, с. 631—645].

Понятие контекста восходит к структуре в наборе данных и должно быть определено как часть постановки проблемы обнаружения аномалий. Каждый экземпляр данных характеризуется при помощи следующих наборов свойств.

- **Контекстуальные атрибуты.** Контекстуальные атрибуты используются для определения контекста (или окружения) для этого экземпляра. Например, в пространственных наборах данных долгота и ширина местоположения — это контекстуальные атрибуты. Во временных рядах контекстуальным атрибутом является время, которое определяет положение экземпляра в целой последовательности.

- **Поведенческие атрибуты.** Поведенческие атрибуты определяют неконтекстуальные характеристики экземпляра данных. Например, в пространственном наборе данных, описывающим средние значения осадков во всем мире, количество осадков в каком-то конкретном месте — это поведенческий атрибут.

Аномальное поведение определяется посредством значений поведенческих атрибутов исходя из конкретного контекста. Экземпляр данных может быть контекстуальной аномалией в данном контексте, но точно такие же данные (если рассматривать поведенческие атрибуты) могут считаться нормальными в другом контексте. Это свойство является ключевым в разделении контекстуальных и поведенческих атрибутов в методе обнаружения контекстуальных аномалий.



Рисунок 2. Контекстуальная аномалия в температурном временном ряду. Надо заметить, что температура во время t_1 такая же, как и во время t_2 , но находится в ином контексте и поэтому не рассматривается как аномалия.

Контекстуальные аномалии были наиболее широко исследованы во временных рядах [8, с. 373—399] и пространственных данных [4]. Рисунок 2 показывает один из таких примеров для температурного временного ряда, который содержит помесечную температуру области в течение нескольких последних лет. Некоторое значение температуры может считаться нормальным зимой (во время t_1), но такая же температура летом (во время t_2) указывает на аномалию.

Похожий пример может быть приведен из области мошенничества с кредитными картами. Контекстуальным атрибутом в данном случае может быть время покупки. Предположим, что какой-то человек в среднем тратит \$100 в неделю всегда, помимо новогодних праздников, когда траты составляют \$1000. Новая покупка, стоимостью \$1000 в середине июня будет расценена как контекстуальная аномалия из-за того, что она не удовлетворяет нормальному поведению человека в этот период времени (несмотря на то, что то же количество, потраченное на праздниках, считается нормальным).

Необходимость применения метода обнаружения контекстуальных аномалий исходит из важности контекстуальных аномалий в данной области. Другим ключевым фактором является доступность контекстуальных аномалий. В некоторых случаях определение контекста — прямолинейно и поэтому применение методов обнаружения контекстуальных аномалий имеет смысл. Иногда же, напротив, определение контекста не является простой задачей, что делает сложным применение подобных подходов.

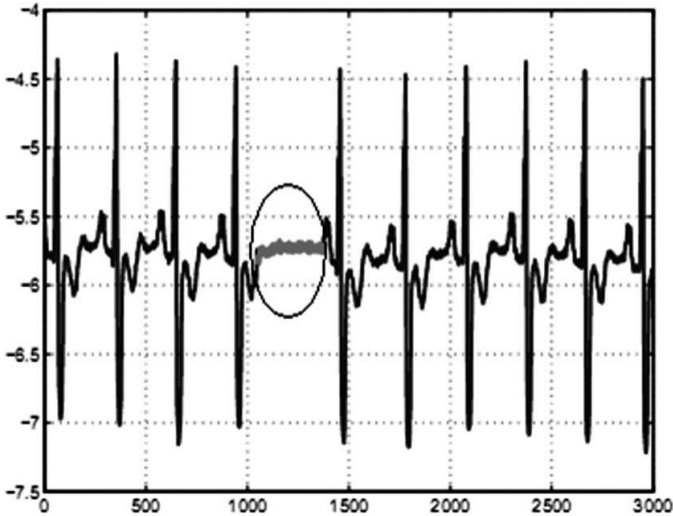


Рисунок 3. Коллективная аномалия, связанная с преждевременной закупоркой артерии на электрокардиограмме человека

Коллективные аномалии. Если последовательность связанных экземпляров данных является аномальной по отношению к целому набору данных, то такая последовательность именуется коллективной аномалией. Отдельный экземпляр данных в такой последовательности может и не быть аномальным сам по себе, но появление таких экземпляров вместе является коллективной аномалией. Рисунок 3 иллюстрирует пример такой аномалии. На нем изображен результат электрокардиограммы человека [3, с. 215]. Выделенный регион является аномалией, потому что одно и то же низкое значение наблюдается в течение длительного времени. Надо заметить, что низкое значение само по себе не является аномалией.

В качестве еще одного примера представим последовательность событий, происходящих на компьютере:

. . . http-web, buffer-overflow, http-web, http-web, smtp-mail, ftp, http-web, ssh, smtp-mail, http-web, **ssh, buffer-overflow, ftp**, http-web, ftp, smtp-mail, http-web . . .

Выделенная последовательность (ssh, buffer-overflow, ftp) относится к типичной последовательности событий при веб-атаке с помощью удаленного компьютера, за которой следует копирование данных с рассматриваемого компьютера на удаленный компьютер посредством протокола ftp. Причем, именно эта последовательность

событий является аномалией, в то время как отдельные события этой последовательности — нормальные, если они происходят в разные промежутки времени.

Коллективные аномалии исследовались для последовательных данных [2, с. 110], графовых данных [5, с. 631—636] и пространственных данных [6, с. 371—376]. Необходимо заметить, что в то время как точечные аномалии могут наблюдаться в любом наборе данных, коллективные наблюдаются только в тех, где данные связаны между собой. С другой стороны, появление контекстуальных аномалий связано с доступностью контекстуальных атрибутов в данных. Точечная или коллективная аномалия может также являться контекстуальной, если анализируется с учетом контекста. Таким образом, задача обнаружения точечных или коллективных аномалий может быть преобразована в задачу обнаружения контекстуальных аномалий путем добавления контекстуальной информации.

Список литературы:

1. Chandola V., Banerjee A., Kumar V. Anomaly Detection: A Survey. // ACM Computing Surveys, Vol. 41(3), Article 15, 2009.
2. Forrest S., D'Haeseleer P., and Helman P. An immunological approach to change detection: Algorithms, analysis and implications. // In Proceedings of the 1996 IEEE Symposium on Security and Privacy, IEEE Computer Society, 1996.
3. Goldberger A. L., Amaral L. A. N., Glass L., Hausdorff J. M., Ivanov P. C., Mark R. G., Mietus J. E., Moody G. B., Peng C.-K., Stanley H. E. PhysioBank, PhysioToolkit, and PhysioNet: Components of a new research resource for complex physiological signals. // Circulation Electronic Pages, 2000.
4. Kou Y., Lu C.-T., Chen D. Spatial weighted outlier detection. // In Proceedings of SIAM Conference on Data Mining, 2006.
5. Noble C. C., Cook D. J. Graph-based anomaly detection. // In Proceedings of the 9th ACM SIGKDD international conference on Knowledge discovery and data mining. NY : ACM Press, 2003.
6. Shekhar S., Lu C.-T., Zhang P. Detecting graph-based spatial outliers: algorithms and applications (a summary of results). // In Proceedings of the 7th ACM SIGKDD international conference on Knowledge discovery and data mining. NY: ACM Press, 2001.
7. Song X., Wu, M., Jermaine C., Ranka S. Conditional anomaly detection. // IEEE Transactions on Knowledge and Data Engineering, Vol. 19, 2007.
8. Weigend A. S., Manganas M., Srivastava A. N. Nonlinear gated experts for time-series — discovering regimes and avoiding overfitting. // 6th International Journal of Neural Systems, 1995.

ПОВЫШЕНИЯ КАЧЕСТВА РОБОТОТЕХНИЧЕСКИХ СИСТЕМ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ УПРАВЛЯЮЩЕГО МАГНИТОРЕОЛОГИЧЕСКОГО ЭЛЕМЕНТА

Комлева Оксана Анатольевна

ассистент каф. УИТ, БИТТИУ, г. Балаково

E-mail: komlevaoo@yandex.ru

В последнее время развивающаяся промышленность требует автоматизированного процесса управления сборкой робототехнических систем.

Обеспечение точной сборки деталей требует внедрения управляющих элементов, которые обеспечат увеличение производительности сборки, а так же позволит сэкономить материалы и время на обработку. Для уменьшения брака в производстве необходимо использовать элементы управления. Одним из таких элементов может являться магнитожидкостный управляющий элемент, который может применяться в робототехнике.

Магнитоологические управляющие элементы основаны на использовании суспензий, таких как магнитоологическая жидкость (МЖ). МЖ отличается от других поверхностно-активных веществ определенными свойствами, например, она способна менять свою вязкость в зависимости от создаваемого магнитного поля.

Способов получения (МЖ) много, однако производство, например, магнитожидкостных управляющих элементов за границей начинается только осваиваться, а в России ещё не планируется.

Основной рабочей характеристикой магнитожидкостного управляющего элемента является зависимость силы сопротивления перемещению штока от скорости его перемещения. Реальная система практически не поддается точному решению, а потому выберем дифференциальные уравнения для статической и динамической характеристик МЖ управляющего элемента.

МЖ управляющее устройство применяется в робототехнике. А именно используется как управляющий элемент стабильной и точной работы робота. Разработанная конструкция МЖ управляющего элемента основана на использования магнитоологической жидкости, которая под воздействием магнитного поля изменяет свои вязкожесткостные свойства, что позволяет регулировать частотные характеристики управляющего элемента, представленного на рис. 1. Магнитоологический управляющий элемент выполнен из стали Ст3 и состоит из следующих элементов: — корпуса; — поршня; — двух крышек; — двух штоков.

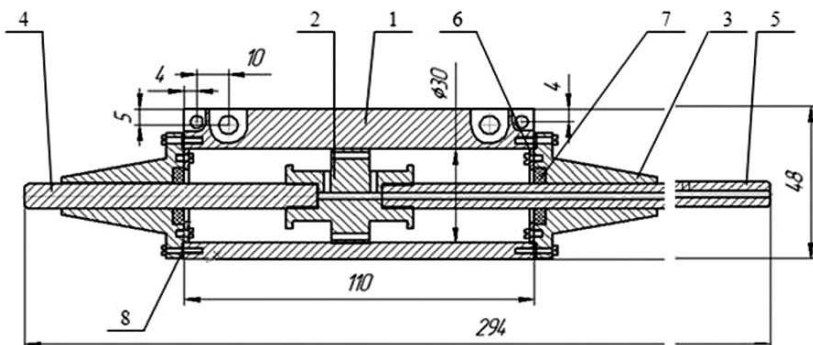


Рис. 1. Конструкция магнито-реологического управляющего элемента

- 1 — корпус; 2 — поршень-катушка; 3 — крышка; 4 — шток;
5 — шток с отверстием под кабель-канал; 6 — планка;
7 — уплотнительное кольцо; 8 — прокладка.**

Поршень выполнен из стали Ст3, имеет вид цилиндра с зазором по центру. Габаритные размеры изделия 40×30 мм. Зазор необходим для наматывания витков провода катушки, который подводится к месту наматывания по полному каналу, расположенному внутри поршня. В своем составе поршень имеет четыре пропускных канала для переливания жидкости из одной поршневой области в другую и две резьбы М8 для закрепления штоков. Принцип действия магнито-реологического управляющего элемента основан на изменение плотности и вязкости магнито-реологической жидкости внутри цилиндра, при изменения подачи напряжения на катушку. При изменения вязкости магнито-реологическая жидкость становится более плотной, тем самым уменьшается вибрация возникающая в процессе точечных операций.

Данная конструкция используется в работе серии МП-11 и установлена на его руке [2].

Конструкция МЖ управляющего устройства используется как для перемещения, так и для захвата деталей. Управляющее устройство позволяет обеспечить точность операций робота и уменьшить вибрацию всей конструкции в целом. В настоящей статье произведен расчет [3] статической характеристик ЭМЖ управляющего устройства используемый в робототехники. На рис. 2 представлен робот модели МП-11.

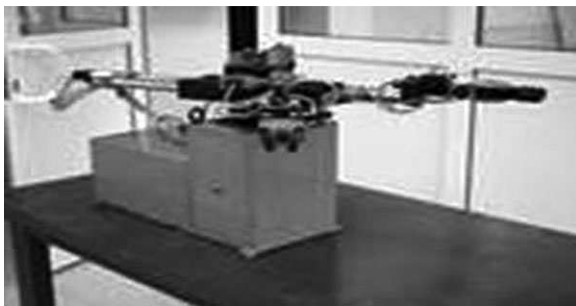


Рисунок 2. Робот модели МП-11

В работе [3] решены дифференциальные уравнения для статической характеристики МЖ управляющего элемента, в результате чего установлено:

- энергия магнитного поля определяется из графика, построенного в программной среде Elcut, предназначенной для моделирования магнитных полей, которая зависит от ряда параметров, основными из которых является сила тока катушки, напряженность магнитного поля, время;

- при увеличении магнитного поля, создаваемого магнитной катушкой, в МЖ управляющего элемента увеличивается вязкость МЖ, что позволяет снизить время реакции управляющего элемента на колебания;

- при увеличении вязкости МЖ в магнитожидкостном управляющим элементом увеличивается сила трения, прилагаемая на шток управляющего элемента.

Для расчета динамической характеристики МЖ управляющего элемента воспользуемся уравнением [3].

$$(AB - r_0 r_1 \alpha_1 \beta_1 \mu^2) \sin(\mu(r_1 - r_2)) + \mu(r_0 \alpha_1 B + r_1 \beta_1 A) \cos(\mu(r_0 - r_1)) = 0 \quad (1)$$

и континуальной передаточной функцией [3].

$$W(r, \rho, p) = \frac{1}{2\pi} \cdot \frac{1}{r\rho} \sum_{k=1}^{\infty} \frac{\overline{\varphi}_k(r) \overline{\varphi}_k(\rho)}{\rho + a^2 \mu_k^2} \quad (2)$$

Найдем прямое преобразование Лапласа от стандартизирующей функции, учитывая, что прямое преобразование Лапласа от дельта функции равна 1:

$$L[\delta(t)] = 1, \\ \omega(r, t) = f(r, t) + Q_0(r) \delta(t)$$

Чтобы найти динамическую характеристику МЖ управляющего элемента, необходимо получить зависимость выходной величины от времени. Преобразуем выражение

$$Q(r, t) = 0,4 \cdot 10^{-3} \cdot \frac{-0,11 \cdot 10^4 x t - 0,64 \cdot 10^4 e^{-480t} \cdot \cos(t)^5 \cdot \cos(400x) + 0,72 \cdot 10^4 \cdot e^{-54t} \cdot \cos(t)^5 \cdot \cos(130x) + 0,11 \cdot 10^4 \cdot e^{-54t} \cdot \cos(t)^3 \cdot \sin(130x)}{t} + \frac{0,35 \cdot 10^4 \cos(t) - 0,11 \cdot 10^6 e^{-0,13 \cdot 10^4 t} \cdot \cos(t)^5 \cdot \sin(660r)}{t} \quad (3)$$

Подставим радиус цилиндра амортизатора $r=0,015$ м в выражение (3), получим динамическую характеристику МЖ управляющего элемента

$$Q(t) = (-0,2 \cdot 10^{-3}) \cdot \frac{-0,88 \cdot 10^4 \cdot e^{-54t} \cdot \cos(t)^3 - 0,7 \cdot 10^4 \cdot \cos(t) + 0,22 \cdot 10^4 \times \times e^{-54t} \cdot \cos(t) - 0,22 \cdot 10^5 \cdot \cos(t)^5 + 0,28 \cdot 10^5 \cdot \cos(t)^3 + 0,28 \cdot 10^4 \times \times \cos(t)^2 + 0,44 \cdot 10^3 \cdot e^{-54t}}{t} \quad (4)$$

По уравнению (4) определили основные динамические свойства ЭМЖ управляющего элемента, построена ЛАЧХ и переходный процесс [2].

Разнообразные и уникальные свойства МЖ позволили создать на их основе новые высокоэффективные управляющие элементы. Которые могут использоваться не только в робототехнике при гашения колебаний при перемещения деталей, а также использоваться как демпфирующее устройство-амортизаторы [1]. На основании теоретической динамической характеристики ЭМЖ управляющего устройства будут определены оценки качества автоматизированного технологического процесса сборки деталей в автомобилестроение.

Список литературы:

1. Власов А. В. Комлева О. А. Интеллектуальный магнитожидкостный амортизатор для автомобиля. IX Международная научная конференция «Современные проблемы электрофизики и электродинамики жидкостей», Санкт-Петербург 2009. — С. 102—105
2. Комлева О. А. Динамические характеристики электромагнитожидкостного управляющего элемента / О. А. Комлева // Вестник Саратовского государственного технического университета 2010, № 2(45), С. 116—120

3. Комлева О. А. Расчет теоретической статической характеристики магнитожидкостного амортизатора / Комлева О. А. // Системы автоматического проектирования и автоматизации производства: сб.науч.тр. — Саратов: СГТУ, 2009. — С. 232—237

ВНЕДРЕНИЕ СРЕДСТВ АВТОМАТИЗАЦИИ В ПРОЦЕССЫ КОНТРОЛЯ И УПРАВЛЕНИЯ НА ПРОИЗВОДСТВЕ

Никонов Андрей Владимирович

аспирант Вятского государственного университета, г. Киров

E-mail: ITspecal2009@yandex.ru

Промышленные предприятия Кировской области, как и всей России, находятся в постоянном соперничестве с конкурентами за возможность своего существования, расширение рынков сбыта и удовлетворение возрастающих требований к качеству выпускаемой продукции. Всё это требует модернизации существующих технологических процессов, внедрения новых устройств и приборов.

Так, на одном из заводов возникла проблема автоматизации процесса контроля параметров прессования и вулканизации при производстве резинотехнических изделий. Для решения поставленной задачи предлагалось использовать различные средства автоматизации, выпускаемые фирмами «ОВЕН», «Системы контроля», «КонтрАвт», обладающие собственными специфическими особенностями и параметрами настройки.

Установленное на заводе промышленное оборудование для прессования и вулканизации резинотехнических изделий обслуживается рабочими без использования специальных средств контроля и управления, что приводит к нарушениям технологического процесса. Так в целях экономии времени персонал повышает необходимую температуру в печах в полтора-два раза, а выпущенные изделия не соответствуют стандартам качества и отбраковываются. Наличие больших объемов брака заставило решать вопрос о контроле технологических параметров, а именно температуры и времени, с помощью средств автоматизации.

Для контроля установленной рабочим температуры запекания резиновой смеси, используем стационарный датчик, размещенный в камере, а также измеритель-регулятор ТРМ201 (рис. 1) фирмы «ОВЕН».

Одноканальный измеритель-регулятор TPM201 применяется для измерения, регистрации и/или регулирования температуры теплоносителей и различных сред в холодильной технике, сушильных шкафах, печах различного назначения, пастеризаторах и другом технологическом оборудовании, а также для измерения других физических параметров [2]. Данный прибор обладает следующими функциями:

- измерение температуры и других физических величин (давления, влажности, расхода, уровня и т. п.) с помощью стандартных датчиков;
- регулирование измеряемой величины по двухпозиционному (релейному) закону;
- аналоговое П-регулирование;
- цифровая фильтрация и коррекция входного сигнала, масштабирование шкалы для аналогового входа;
- отображение текущего значения измеряемой величины на встроенном светодиодном цифровом индикаторе;
- регистрация данных на ПК и установление конфигурации прибора с компьютера через интерфейс RS-485 с помощью адаптера интерфейса.



Рисунок 1. Внешний вид TPM201

В процессе работы TPM201 производит опрос входного датчика, установленного в камере запекания, вычисляя по полученным данным текущее значение измеряемой величины, отображает его на цифровом индикаторе и выдает соответствующие сигналы на выходное устройство.

Для связи с компьютером применяется адаптер интерфейса RS-232/RS-485 ОВЕН АС3-М, предназначенный для взаимного

преобразования сигналов интерфейсов RS-232 и RS-485 и подключения до 32 приборов к одному последовательному порту компьютера [1].

Для визуализации процесса контроля и регистрации данных на ПК используется SCADA-система, поставляемая в комплекте с приборами ОВЕН, и состоящая из двух компонент: Owen Process Manager и Owen Report Viewer, позволяющих фиксировать и архивировать значения температуры и времени.

Постоянный опрос датчика температуры с помощью терморегулятора ТРМ201, отображение и запись измеренных значений в SCADA-системе ОВЕН дают возможность проследить каждое изменение температуры и установить точное время, когда это произошло, контролируя, таким образом, технологический процесс. Функциональная схема автоматизации контроля вулканизации с помощью ТРМ201 приведена на рис. 2.

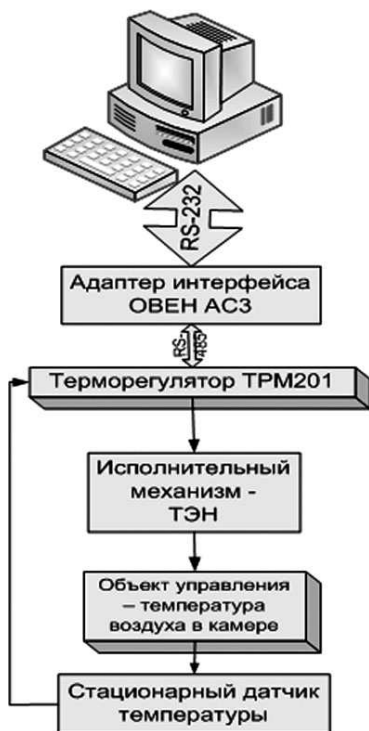


Рисунок 2. Функциональная схема автоматизации контроля

Для управления процессом запекания изделий применения рассмотренного выше прибора ТРМ201 недостаточно, ввиду невозможности автоматически включать/выключать ТЭН по истечении определенного промежутка времени. Для решения этой задачи можно использовать установленные на части промышленных установок многоканальные программные регуляторы температуры с графическим дисплеем Термодат — 17Е3 фирмы «Системы контроля», добавив к ним реле времени ЭРКОН-215 фирмы «КонтрАвт».

Прибор Термодат-17Е3 предназначен для измерения и контроля температуры. Он обеспечивает регулирование температуры по программе, то есть по заранее установленному оператором графику. Программа регулирования может содержать до двадцати участков, каждый из которых определяет действия прибора: нагрев, охлаждение, поддержание температуры. Имеется возможность задать 20 программ регулирования и в дальнейшем оперативно выбрать одну из них.

Запуск программы на выполнение осуществляется подачей соответствующей команды с клавиатуры прибора, внешней кнопкой или тумблером. При завершении программы регулирование прекращается, при этом Термодат-17Е3 продолжает измерять температуру. Прервать выполнение программы можно в любой момент, подав соответствующую команду (выключен) с клавиатуры прибора.

Прибор работает в режиме электронного самописца. Измеренная температура выводится в виде графика на жидкокристаллический графический дисплей с подсветкой. Термодат-17Е3 поддерживает два протокола обмена с компьютером: «Термодат» — протокол, специфический для приборов «Термодат», и широко распространённый протокол Modbus (ASCII) [3].

Реле времени ЭРКОН-215 предназначено для автоматического замыкания-размыкания внешних цепей с выдержками времени в соответствии с заданными пользователем временными диаграммами в схемах автоматики и управления. Коммутация внешних цепей осуществляется посредством группы переключающих контактов встроенного электромеханического реле [4].

Модификация реле ЭРКОН-215-220-Р-1 обладает программно-аппаратной поддержкой интерфейса RS-485, что позволяет использовать реле для работы в сети в составе системы управления.

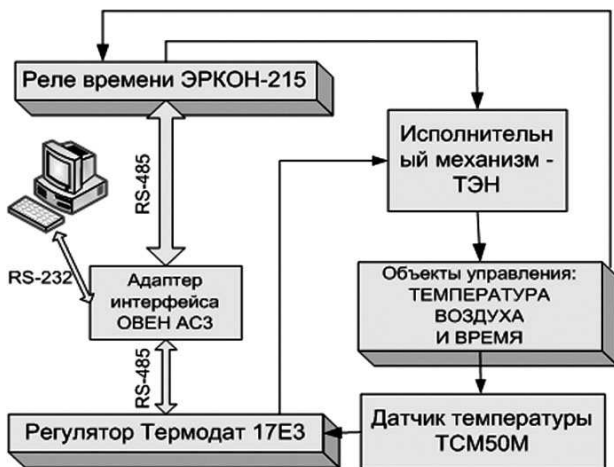


Рисунок 3. Функциональная схема автоматизации управления

Таким образом, во втором случае формируется двухконтурная система управления температурой и временем процесса (рис. 3). Что касается связи с компьютером, то здесь также предлагается воспользоваться адаптером фирмы ОВЕН АС3 и свободно распространяемой SCADA-системой Owen Process Manager.

Список литературы:

1. Автоматический преобразователь интерфейсов RS-232/RS-485 ОВЕН АС3-М: краткое описание. URL: <http://www.owen.ru/catalog/37471589> (дата обращения 20.02.2012).
2. Измеритель-регулятор одноканальный с RS-485 ОВЕН ТРМ201: краткое описание. URL: <http://www.owen.ru/catalog/28533238> (дата обращения 20.02.2012).
3. Многоканальный программный регулятор температуры с графическим дисплеем (электронный самописец) Термодат — 17Е3: инструкция по настройке. Систем. требования: Adobe Acrobat Reader. URL: http://www.termodat.t-sys.ru/assets/downloads/194/termodat-17e3_manual.pdf (дата обращения 20.02.2012).
4. Реле времени ЭРКОН-215: паспорт (ПИМФ.403455.006 ПС изм. 2) Систем. требования: Adobe Acrobat Reader. URL: http://files.contravt.ru/pasp_ercon215.pdf (дата обращения 20.02.2012).

АНАЛИЗ ЗАДЕРЖКИ ПЕРЕДАЧИ РЕЧИ ПО СЕТИ ПЕРЕДАЧИ ДАННЫХ IP

Саданова Бакытгуль Маратовна

*старший преподаватель КарГТУ, г. Караганда, Казахстан
E-mail: sbbm_70@mail.ru*

Лейзер Людмила Ильинична

*старший преподаватель КарГТУ, г. Караганда, Казахстан
E-mail: leileo@mail.ru*

Исатаева Гайнель Сабидулловна

*преподаватель КарГТУ, г. Караганда, Казахстан
E-mail: gainel-delicado@rambler.ru*

Организация речевой связи по протоколу IP основана на использовании метода VoIP. VoIP (Voice over IP) — система связи, обеспечивающая передачу речевого сигнала по сети Интернет или по другим IP-сетям. Сигнал по каналу связи передается в цифровом виде и перед передачей преобразовывается (сжимается) с тем, чтобы удалить избыточность.

Качество речи зависит от типа используемой IP-сети. Анализ задержки передачи речи по сети дает возможность оценить число речевых трактов, которые можно организовать на основе физических каналов сети передачи данных пропускной способности 19,2 и 2048 кбит/с, а также расчет общей задержки, возникающей при передаче речи по корпоративной IP сети передачи данных.

В сетях передачи данных используется оборудование, не позволяющее в полной мере реализовать все требования стандарта VoIP IA 1.0, так как не все маршрутизаторы поддерживают протокол резервирования ресурсов RSVP, который рассматривается в этом стандарте как средство обеспечения гарантированного качества передачи речи.

Можно для кодирования речи использовать вокодер ACELP, описанный в рекомендации ITU G.723.1. Выбор этого вокодера обусловлен самым выгодным соотношением «качество речи / скорость потока».

Для обеспечения соответствующего качества речи необходимо учитывать следующие особенности, определяемые типом кодеков и интервалами передачи пакетов [1]:

- качество речи кодеков изменяется следующим образом: (высокое) G.722, G.711, G.729A (низкое);

- чем короче интервал передачи пакетов, тем выше качество речи;
- чем выше качество речи, обеспечиваемое IP-телефонами, тем большая ширина полосы пропускания требуется для IP-телефонов.

Метод передачи информации, предусмотренный протоколом Ethernet, заключается в том, что перед посылкой данных станции «слушают» сеть, чтобы определить, используется ли она в данный момент. Если сеть используется, то станция, желающая передавать, ожидает. Передача информации осуществляется кадрами Ethernet, которые имеют формат, представленный в таблице 1.

Таблица 1

Формат кадра Ethernet

Преамбула — определяет начало кадра	4 октета
Адрес получателя	8 октетов
Адрес отправителя	8 октетов
Тип кадра — инструкция сетевой маршрутизации	2 октета
Данные (N=46...1200)	N октетов
Циклическая проверочная последовательность	4 октета

Каждый речевой пакет пользователя упаковывается в кадр Ethernet и передается по локальной сети. Это означает, что пакет 103-го абонента будет передан с задержкой 8 мс., так как размер кадра Ethernet для каждого абонента будет иметь размер 94 байта или 752 бита (68 байтов — размер речевого пакета IP, 26 байтов — служебная информация кадра Ethernet), а скорость передачи кадра по локальной сети составляет 10 Мбит/с [2]. Значит, максимальная задержка передачи по локальной сети будет составлять:

$$103 \cdot [752 \text{ бита} / 10000000 \text{ бит/с}] = 0,008 \text{ с.}$$

На скоростных направлениях применяются магистральные маршрутизаторы, которые отличаются высокой производительностью (например, у маршрутизатора Cisco 7200 скорость передачи по системной шине составляет 600 Мбит/с). Из этих соображений, вносимая ими задержка, при обработке пакетов IP на сетевом уровне ЭМВОС, будет незначительная и учитываться не будет.

Из маршрутизатора речевой пакет IP передается на порт с FRAD «Функциональными требованиями к авторитетным данным» коммутатора FrameRelay серии Cascade STDX-6000, где формируется кадр FrameRelay для передачи информации между узлами сети.

Информация между маршрутизатором и коммутатором передается со скоростью 2048 кбит/с (скорость физического интерфейса), и это означает, что последовательная задержка передачи

пакета IP составит 27 мс (задержка передачи 103 пакетов IP размером 68 байт со скоростью 2048 кбит/с составит 27 мс).

Размер кадра FrameRelay составит 74 байта (2 байта — флаги, 2 байта — FCS, 2 байта — стандартный заголовок, 68 байтов — пакет IP). Таким образом, последовательная задержка передачи речевого пакета 103-го пользователя составит 30 мс [2].

Задержка распространения сигнала, рассчитывалась из того условия, что передача осуществляется по коаксиальному кабелю, и в соответствии с рекомендацией ITU G.114 рассчитывается из соотношения:

$$\begin{aligned} \text{задержка распространения (мс)} &= \\ &= 0,004 * \text{протяженность канала связи (км)} \end{aligned}$$

На рис. 1 представлена схема распределения задержек при передаче речи по сети IP КСПД.

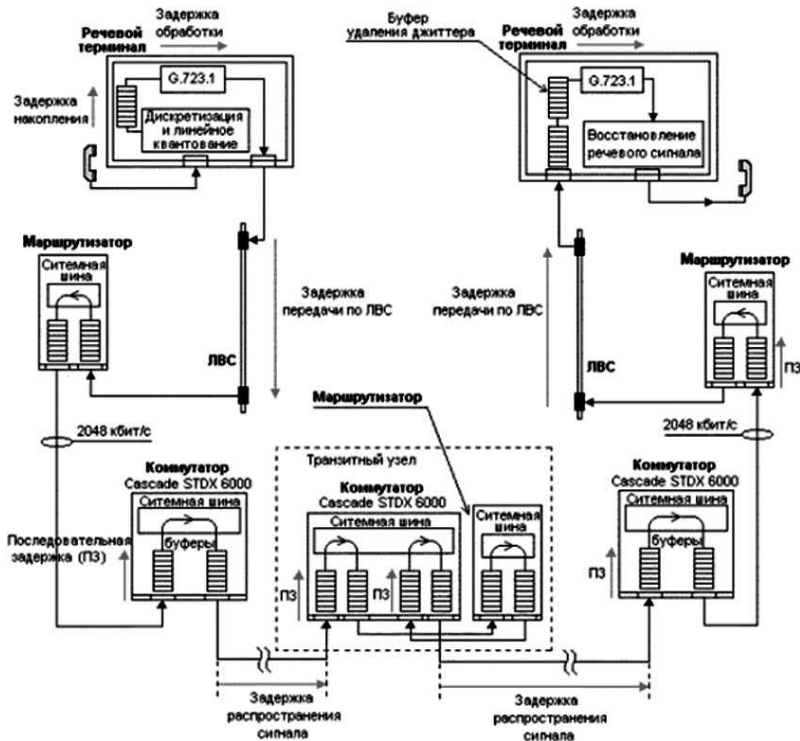


Рисунок 1. Схема распределения задержек в сети IP

Для передачи речи по сети передачи данных IP в соответствии с рекомендацией ITU-T H.323 необходима скорость передачи канала

связи 19,6 кбит/с. В физическом канале со скоростью передачи 2048 кбит/с можно организовать 104 отдельных речевых тракта. С этих позиций можно делать выводы о количестве абонентов КСПД, имеющих возможность вести телефонные переговоры по сети IP [3].

Вносимая в речь задержка может достигать значительных величин, существенно превышающих рекомендованное ITU-T в рекомендации G.114 значение 150 мс.

Опираясь на приведенную схему распределения задержек, а также учитывая количество транзитных узлов, при передаче речевого сигнала от абонента к абоненту, можно с достаточной точностью определить величину совокупной задержки передачи речевого сигнала по сети передачи данных IP КСПД, в соответствии со следующим соотношением:

$$T = (t_{\text{накопл.}} + t_{\text{обrab.}} + t_{\text{ЛВС}} + t_{\text{пocл.комм.}}) + \dots + \underbrace{(t_{\text{распр.}} + t_{\text{пocл.комм.}} + t_{\text{пocл.маршp.}})}_{\text{Задержка, вносимая транзитным узлом}} + \dots + (t_{\text{распр.}} + t_{\text{пocл.комм.}} + t_{\text{пocл.маршp.}} + t_{\text{ЛВС}} + t_{\text{обrab.}}),$$

где $t_{\text{накопл.}} = 30$ мс; $t_{\text{обrab.}} = 30$ мс; $t_{\text{ЛВС}} = 8$ мс; $t_{\text{пocл.комм.}} = 30$ мс; $t_{\text{пocл.маршp.}} = 27$ мс; $t_{\text{распр.}} = 30$ мс.

В случае передачи речи по сети передачи данных FrameRelay в соответствии со стандартом FRF.11 количество возможных телефонных абонентов в сети увеличивается. В канале пропускной способности 19,2 кбит/с можно организовать 2 речевых тракта, а в канале 2048 кбит/с — 268.

Величина вносимой в речь задержки несколько ниже, чем при передаче речи по сети IP. Увеличить качество речи можно путем ограничений максимального количества речевых трактов в канале и использования наиболее приемлемых алгоритмов кодирования речи.

Для решения подобных проблем можно использовать такие меры, как:

- использование алгоритмического восстановления потерянных частей голоса (усреднение по соседним данным);
- применение кодеков с меньшей алгоритмической задержкой (для уменьшения нагрузки на процессор, осуществляющий АЦП и ЦАП).

Список литературы:

1. Гургенидзе А. Мультисервисные сети и услуги широкополосного доступа. — М.: Наука и техника, 2003. — 400 с.
2. Норенков И. Т. Телекоммуникационные технологии и сети. — М.: Изд. МГТУ им. Баумана, 2000. — 248 с.
3. Олифер Н. А., Олифер В. Г. Компьютерные сети. Принципы, технологии, протоколы: Учебник для ВУЗов. 2-е изд. — СПб.: Питер, 2004. — 864 с.: ил.

«НАУКА И ТЕХНИКА В СОВРЕМЕННОМ МИРЕ»

Часть I

Материалы международной заочной научно-практической
конференции

21 февраля 2012 г.

В авторской редакции

Подписано в печать 28.02.12. Формат бумаги 60x84/16.
Бумага офсет №1. Гарнитура Times. Печать цифровая.
Усл. печ. л. 8,5. Тираж 550 экз.

Издательство «Сибирская ассоциация консультантов»
630075, г. Новосибирск, Залесского 5/1, оф. 605
E-mail: mail@sibac.info

Отпечатано в полном соответствии с качеством предоставленного
оригинал-макета в типографии «Allprint»
630004, г. Новосибирск, Вокзальная магистраль, 3