

Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение  
высшего профессионального образования  
«Московский государственный технический университет им. Н. Э. Баумана»  
Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение  
высшего профессионального образования  
«Калужский филиал МГТУ имени Н. Э. Баумана»

*55 лет*  
*Калужскому филиалу*  
*МГТУ им. Н.Э. Баумана*

**НАУКОЕМКИЕ ТЕХНОЛОГИИ  
В ПРИБОРО - И МАШИНОСТРОЕНИИ  
И РАЗВИТИЕ ИННОВАЦИОННОЙ  
ДЕЯТЕЛЬНОСТИ В ВУЗЕ**

**Материалы  
Всероссийской научно-технической конференции**

**Том 3**



**Москва 2014**

УДК 378:001.891  
ББК 74.58:72  
НЗ4

### **Руководители конференции**

*А. В. Царьков* (директор КФ МГТУ им. Н. Э. Баумана);  
*А. А. Столяров* (зам. директора по научной работе)

### **Оргкомитет конференции**

*А. А. Столяров* (председатель оргкомитета);  
*В. В. Лебедев* (ученый секретарь);  
*Е. Н. Малышев; Г. В. Орлик; А. П. Коржавый; А. А. Жинов;*  
*Ю. П. Корнюшин; А. И. Пономарев; А. К. Рамазанов; А. А. Анкудинов;*  
*Б. М. Логинов; В. Г. Косушкин; В. В. Андреев; А. В. Мазин; А. А. Шубин;*  
*А. К. Горбунов; А. В. Максимов; М. В. Астахов; Е. Н. Сломинская;*  
*О. Л. Перерва; Г. И. Ловецкий; А. Ю. Красноглазов; В. М. Алакин*

НЗ4      **Научное** технологии в приборо- и машиностроении и развитие инновационной деятельности в вузе : материалы Всероссийской научно-технической конференции, 25–27 ноября 2014 г. Т. 3. — М. : Издательство МГТУ им. Н. Э. Баумана, 2014. — 332 с.

ISBN 978-5-7038-4079-5 (т. 3)  
ISBN 978-5-7038-4076-4

В сборнике материалов Всероссийской научно-технической конференции представлены результаты научных исследований, выполненных учеными в течение ряда лет. Систематизированы материалы различных научных школ. Результатами научных исследований являются новые методы, вносящие вклад в развитие теории, а также прикладные задачи, воплощенные в конструкции и материалы.

УДК 378:001.891  
ББК 74.58:72

ISBN 978-5-7038-4079-5 (т. 3)  
ISBN 978-5-7038-4076-4

© Коллектив авторов, 2014  
© Калужский филиал МГТУ  
им. Н. Э. Баумана  
© Издательство МГТУ  
им. Н. Э. Баумана, 2014

## **СЕКЦИЯ 9.**

### **ГИДРАВЛИЧЕСКИЕ МАШИНЫ, ГИДРОПНЕВМОАВТОМАТИКА**

И.В. Гусев, А.А. Кирюхин, Ф.Л. Чубаров

## **ОПТИМИЗАЦИЯ ПРОИЗВОДИТЕЛЬНОСТИ КОНДЕНСАТОРОВ ТУРБОГЕНЕРАТОРНЫХ УСТАНОВОК МАЛОЙ И СРЕДНЕЙ МОЩНОСТИ**

КФ МГТУ им. Н.Э. Баумана, Калуга, 248000, Россия

Современный конденсатор турбины должен удовлетворять следующим основным требованиям: обладать высоким коэффициентом теплопередачи, малым паровым сопротивлением, не иметь переохлаждения конденсата, т.е. сохранять температуру конденсата близкой температуре насыщения отработавшего пара, иметь высокую надежность и большой срок службы. Сегодня повышение данных параметров является актуальной задачей, т.к. это приводит к повышению эффективности конденсатора в целом, и как следствие – увеличению энергоэффективности установки.

При понижении давления в конденсаторе (увеличении вакуума) увеличивается вырабатываемая электрическая мощность и общий КПД установки [1, 2]. В настоящее время в большинстве турбогенераторных установок производства ОАО «Калужский турбинный завод» применен конденсатор КП-540, рассчитанный на давление охлаждающей воды 0,4 МПа. Конденсатор имеет веерную разбивку.

В связи с увеличением давления охлаждающей воды (с 0,4 МПа до 0,6 МПа и далее до 0,8 МПа) потребовалось изменение конструкции существующего конденсатора КП-540 в части прочностных характеристик. Кроме того для улучшения эффективности теплообмена вместо веерной была применена ленточная разбивка трубок.

На сегодняшний день на ОАО «Калужский турбинный завод» разработан новый конденсатор КП-560 для применения в составе турбогенераторных установок мощностью до 8 МВт. Прототипом для нового конденсатора послужил конденсатор КП-540.

Конденсатор КП-560 представляет собой кожухотрубный двухходовой, двухпоточный теплообменный аппарат с прямолинейным трубным пучком, закрепленным в трубных досках. При этом в отличие от прототипа КП-540, предусмотрена возможность работы конденсатора одним потоком по охлаждающей воде, что позволяет осуществлять обслуживание одной из секций без прекращения работы конденсатора [3].

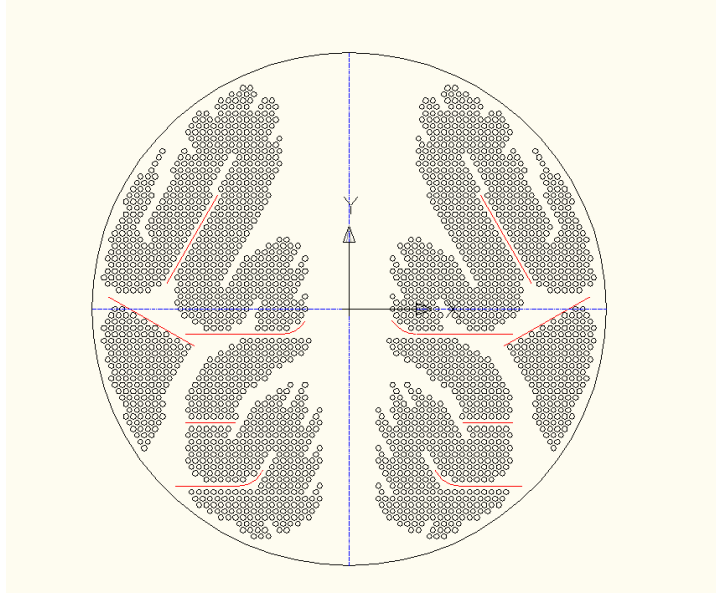
Пучок конденсатных трубок имеет глубокие проходы для пара. По длине конденсатора предусмотрен проход для отработавшего пара к нижней части, что способствует устранению переохлаждения конденсата. В конденсаторе осуществляется боковой отсос паровоздушной смеси, и перед отсосом установлены пучки трубок для охлаждения воздуха [4].

В процессе проектирования и изготовления были проведены следующие работы по совершенствованию конструкции существующего конденсатора:

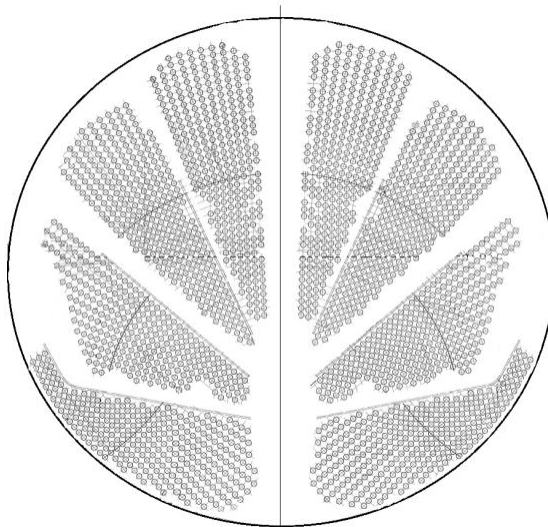
1. Применена прогрессивная ленточная разбивка трубок трубной доски (рис. 1) взамен используемой ранее – веерной (рис. 2), что позволило увеличить поверхность теплообмена в заданном объёме и уменьшить паровое сопротивление [5].

Ниже приведены графики расчетных зависимостей парового сопротивления конденсатора от расхода пара (рис. 3) и изменения давления в конденсаторе от тепловой нагрузки (рис. 4).

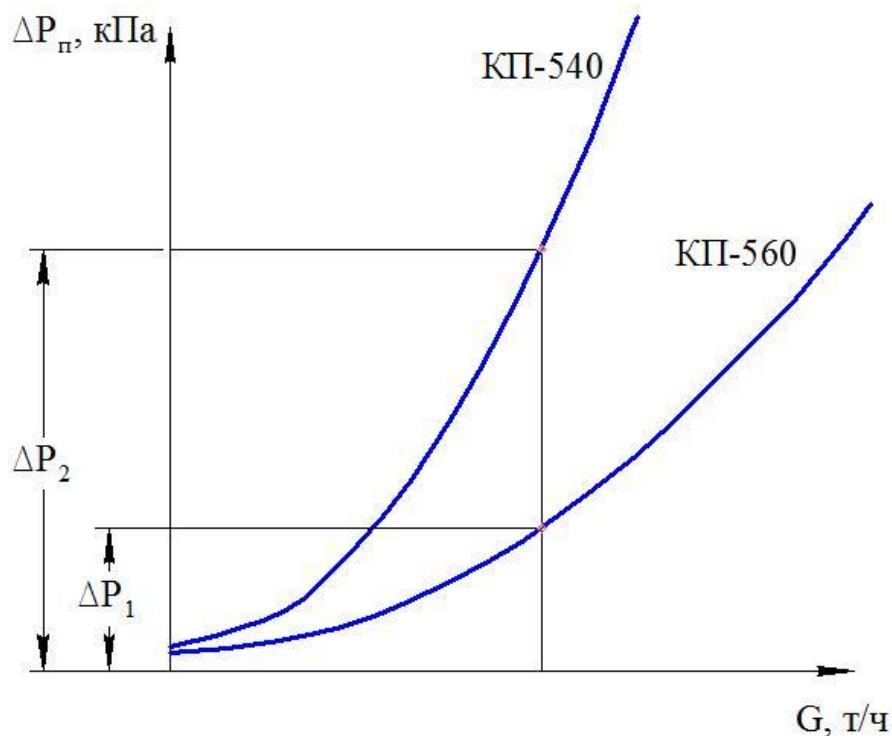
2. Произведена замена плоских крышек на водяных камерах на штампованные эллиптические днища, что позволило поднять давление охлаждающей воды без увеличения толщины деталей. Увеличение линейных габаритов не сказалось на массовых характеристиках конденсатора [6].



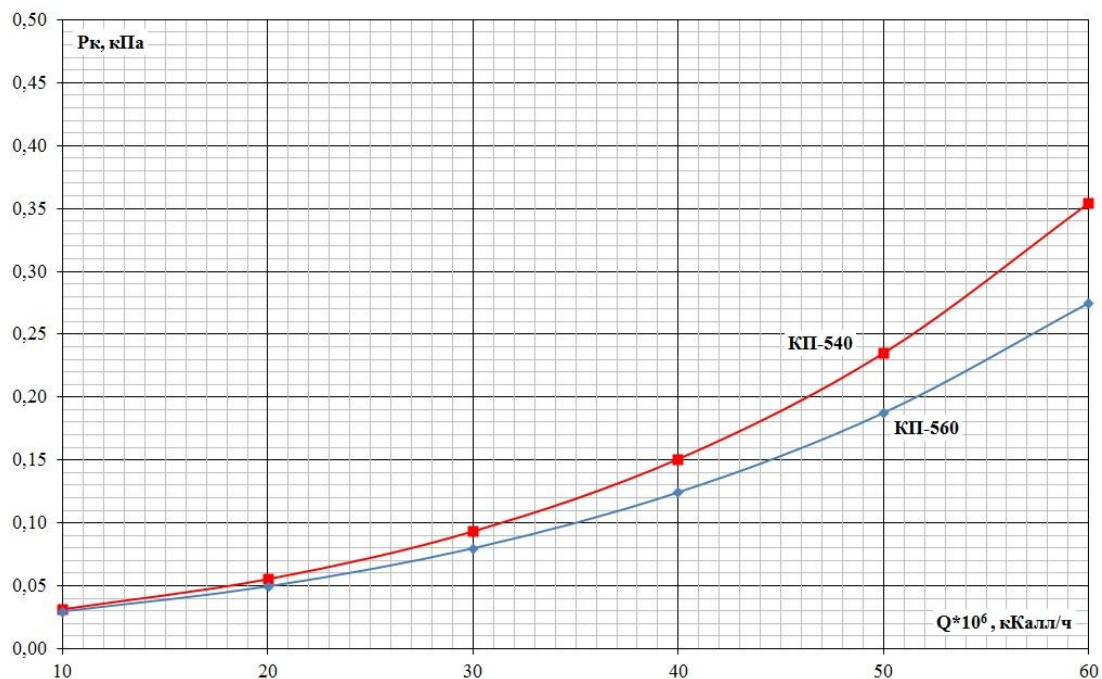
**Рис. 1.** Ленточная разбивка



**Рис. 2.** Веерная разбивка



**Рис. 3.** Качественная зависимость парового сопротивления тепловой поверхности конденсатора от расхода пара



**Рис. 4.** Зависимость давления в конденсаторе от тепловой нагрузки при температуре охлаждающей воды  $15^\circ\text{C}$  и расходе 2000 т/ч

3. За счет применения перегородок приваренных к обечайке улучшены прочностные свойства конструкции и снята необходимость наружного оребрения конденсатора.

4. Произведена общая унификация конструкции, позволяющая использовать конденсатор в различных паротурбинных установках [7].

5. В спроектированном конденсаторе (КП-560) предусмотрена возможность применения труб из различных материалов, в зависимости от качества охлаждающей воды и требуемой надежности.

По результатам работы можно сделать следующие выводы:

1. Спроектированный конденсатор КП-560 рассчитан на большее давление охлаждающей воды и может применяться в более широком ряду турбогенераторных установок малой и средней мощности чем его прототип.

2. Эффективность работы конденсатора и небольшое паровое сопротивление обеспечиваются за счет примененной компоновки трубного пучка.

3. Обеспечена необходимая прочность конструкции за счет примененных технических решений (см. выше). Полученные результаты прочностного расчета позволяют утверждать, что напряжения в элементах конденсатора и запас устойчивости элементов конструкции находится в допустимых пределах.

4. Полученные параметры показывают целесообразность внедрения данной конструкции на предприятиях энергетической отрасли.

### Список литературы

1. Бубнов В.А., Шашков А.Г., Яновский С.Ю. Волновые явления теплопроводности: Системно-структурный подход. М.: Едиториал УРСС, 2004. 296 с.

2. Вавин В.Н. Релейная защита блоков турбогенератор-трансформатор. М.: Энергоиздат, 1982. 256 с.

3. Гавра Г. Г., Михайлов П. М., Рус В. В. Тепловой и гидравлический расчет теплообменных аппаратов компрессорных установок. Учебное пособие. Л.: ЛПИ, 1982. 72 с.

4. Михеев М.А., Михеева И.М. Краткий курс теплопередачи. М.-Л.: Госэнергоиздат, 1960. 206 с.

5. Петухов Б. С., Шиков В. К. Справочник по теплообменникам. М.: Энергоатомиздат, 1987. 560 с.

6. Рыжкин В.Я. Тепловые электрические станции. М.-Л.: Энергия, 1967. 400с.

7. Уваров В.В. Газовые турбины и газотурбинные установки. М.: Высшая школа, 1970. 320 с.

**Гусев Иван Валерьевич** – студент КФ МГТУ им. Н.Э. Баумана. E-mail: ivan.gusv09@yandex.ru.

**Чубаров Федор Леонидович** – канд. техн. наук, доцент КФ МГТУ им. Н.Э. Баумана. E-mail: fedor1966chub@yandex.ru.

**Кирюхин Алексей Алексеевич** – преп. КФ МГТУ им. Н.Э. Баумана. E-mail: gusv09@mail.ru.

## **РЕГУЛИРОВАНИЕ ПРОИЗВОДИТЕЛЬНОСТИ ТУРБОДЕТАНДЕРОВ**

КФ МГТУ им. Н.Э. Баумана, Калуга, 248000, Россия

Практика эксплуатации установок разделения воздуха низкого давления показала, что потери холода в установках существенно меняются в зависимости от атмосферных условий, состояния аппаратов блока разделения и в зависимости от производительности установок по продуктам разделения воздуха [1].

Поскольку все потери холода в установках низкого давления покрываются «холодом», получаемым в турбодетандере, его холодопроизводительность, очевидно, не может оставаться постоянной по времени. В связи с этим возникает вопрос о регулировании холодопроизводительности турбодетандеров.

Холодопроизводительность турбодетандера определяется, как указывалось в [2], теплоперепадом и весовым расходом газа через турбодетандер. Наиболее простой и наименее экономичный способ регулирования заключается в изменении давления газа перед турбодетандером путем дросселирования его регулирующим вентилем. При этом уменьшается и теплоперепад и весовой расход газа через турбодетандер. Способ этот является неэкономичным, поскольку уменьшение теплоперепада обусловливается недоиспользованием располагаемого изэнтропийного теплоперепада.

Наиболее простой способ изменения проходного сечения сопел направляющего аппарата заключается в организации парциального, т. е. частичного, не кругового подвода газа к колесу с переменной степенью парциальности. Этот способ регулирования холодопроизводительности более экономичен, чем дросселирование, однако также связан с потерями энергии, поскольку из-за неравномерности подвода газа к колесу возникают, как уже указывалось, дополнительные потери энергии, так называемые вентиляционные потери.

На рис.1 приведены опытные данные, характеризующие понижение адиабатического к.п.д. активного и реактивного турбодетандеров при регулировании расхода газа изменением степени парциальности.



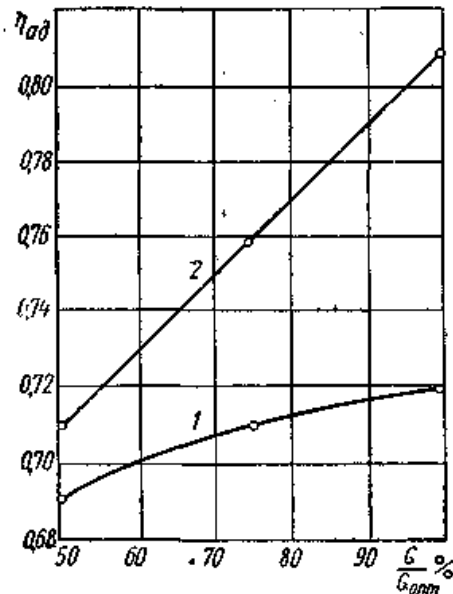


Рис1. Изменение адиабатического к.п.д. турбодетандеров в зависимости от изменения относительного расхода (степени парциальности) при регулировании производительности отключения сопел

- 1 - активный турбодетандер;
- 2 - реактивный турбодетандер.

Более экономичное регулирование расхода газа через турбодетандер достигается применением поворотных лопаток направляющего аппарата. Регулирование расхода газа поворотом лопаток направляющего аппарата основано на том, что при изменении угла наклона сопел изменяется их высота и, следовательно, общее проходное сечение направляющего аппарата.

Опыт показывает, что способ регулирования холодопроизводительности поворотом лопаток направляющего аппарата в отличие от рассмотренных выше способов позволяет с малыми потерями осуществить изменение расхода газа в широких пределах как в сторону уменьшения, так и в сторону увеличения. На рис.2 в виде зависимости коэффициента полезного действия от весового расхода газа, отнесенного к  $G_{iio}$ , приведены результаты испытаний опытного турбодетандера с регулированием расхода газа поворотными лопатками.

На рис.2 дано сопоставление регулирования расхода газа поворотными лопатками с регулированием путем отключения части сопел. Регулирование изменением парциальности производится в пределах 50÷100% (где за 100% принят наибольший расход газа), что соответствует регулированию поворотными лопатками в пределах  $\pm 25\%$  от расчетного среднеэксплуатационного расхода газа. Можно установить два турбодетандера, регулируемых отключением сопел и отличающихся друг от друга по производительности примерно на 25% (рис.2, б). В этом случае, в ущерб взаимозаменяемости машин, достигается некоторое улучшение использования их в установке разделения воздуха.

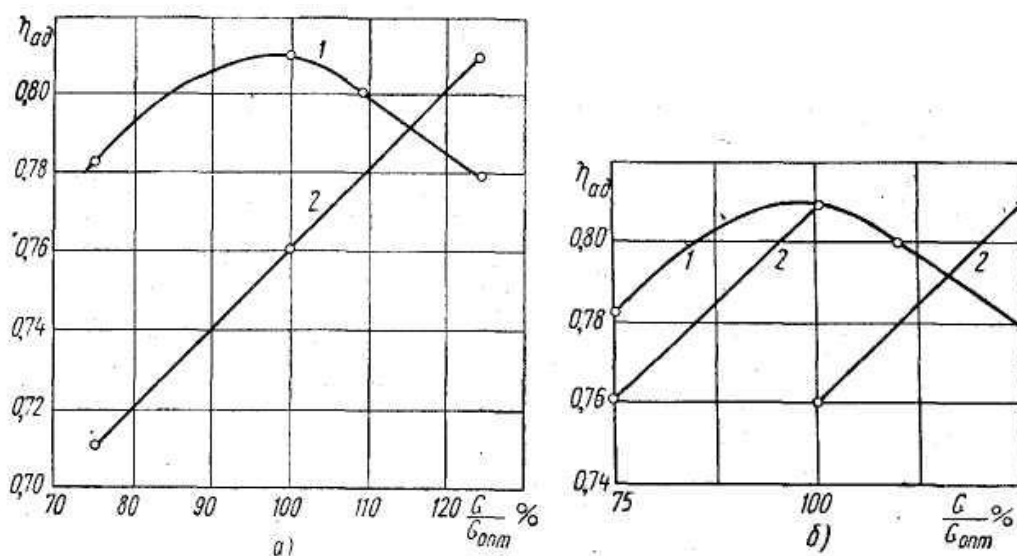


Рис.2. Сравнительная характеристика турбодетандеров  
 1 – поворотом лопаток; 2 – отключением сопел; а – один детандер с отключением сопел; б – два детандера с отключением сопел, отличающиеся по расходу газа на 25%.

Таким образом, наиболее эффективным из проверенных способов регулирования расхода газа является способ поворота лопаток направляющего аппарата. Этот способ позволяет, кроме того, путем изменения начального угла установки лопаток направляющего аппарата изменять величину среднеэксплуатационного расхода газа.

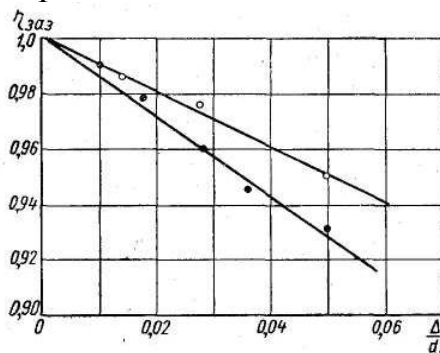


Рис.3. Влияние радиального зазора  $\frac{\Delta}{d_1}$  на к.п.д. реактивного турбодетандера:  $\circ$  –  $\alpha'_1 = 14^\circ$ ;  $\bullet$  –  $\alpha'_1 = 24^\circ$

На основе исследования работы опытного турбодетандера с поворотными лопатками рекомендуется для регулирования расхода газа изменять угол наклона сопла в пределах  $\alpha'_1 = 12^\circ \div 30^\circ$  [2]. Изменение угла наклона сопла может сопровождаться изменением радиального зазора ( $\Delta$ ) между внешним диаметром колеса ( $d_1$ ) и внутренним диаметром соплового аппарата. Опытами установлено, что увеличение зазора  $\Delta$  между направляющим аппаратом и колесом (при уменьшении диаметра колеса путем его обточки) ведет к понижению к.п.д. турбодетандера (рис.3). Поэтому рекомендуется местоположение оси поворота лопаток и исходный зазор выби-

рять таким образом, чтобы при повороте лопатки максимальная величина относительного зазора  $\frac{\Delta}{d_1}$  не превышала 0,015÷0,02.

#### **Литература:**

1. А.Б. Давыдов, Турбодетандер ТДР-15 установки «ВНИИКИМАШ БР-5». Труды ВНИИКИМАШ, вып.4, Машгиз, 2006;
2. Б.И, Елифанова, Низкотемпературные радиальные турбодетандеры, Машгиз, 2007;
3. База и генератор образовательных ресурсов. [Электронный ресурс]. – Режим доступа: [http://bigor.bmstu.ru/?cnt/?doc=140\\_CADedu/CAD.cou](http://bigor.bmstu.ru/?cnt/?doc=140_CADedu/CAD.cou) (дата обращения 20.10.2014).;

**Костюков Иван Сергеевич** – ассистент КФ МГТУ им. Н.Э. Баумана. E-mail: [kisnew@mail.ru](mailto:kisnew@mail.ru).

**Абрамов Н.Е.** – студент КФ МГТУ им. Н.Э. Баумана. E-mail: [kisnew@mail.ru](mailto:kisnew@mail.ru).

О.И. Жукова, С.С. Панайотти

## ШНЕКОЦЕНТРОБЕЖНЫЙ НАСОС С ПОЛУСПИРАЛЬНЫМ ПОДВОДОМ

КФ МГТУ им. Н.Э. Баумана, Калуга, 248000, Россия

**Введение.** Шнекоцентробежные насосы с полуспиральным подводом применяются для транспортировки нефти по магистральным нефтепроводам, для подачи нефти из резервуаров к магистральным насосам, на АЭС и др. Насосы горизонтальные, с рабочим колесом двустороннего входа и предвключёнными осевыми устройствами (шнеками), с полуспиральным подводом и двухвитковым спиральным отводом. Насосы имеют горизонтальный разъём. Приёмный и напорный патрубки расположены в нижней части корпуса, что позволяет производить разборку насоса без демонтажа основных трубопроводов. Как показал опыт проектирования, при расчете необходимо учитывать момент скорости перед шнеком, созданный полуспиральным подводом. Рассмотрим расчёт такого насоса на примере насоса НМП 3600-78. Расчетные подача, напор, частота вращения и допускаемый кавитационный запас равны:  $Q_p = 1 \text{ м}^3/\text{с}$ ,  $H_p = 81 \text{ м}$ ,  $n_p = 994 \text{ об/мин}$ ,  $\Delta h_{\text{доп}} = 2,5 \text{ м}$ .

**Расчёт проточной полости.** Кривоосный полуспиральный подвод насоса рассчитан по методике [1]. Размеры расчётного сечения подвода (на одну сторону) находим из соотношения  $A_p = \int_{F_p} (b/r) dr = 0,06\sqrt[3]{Q_p/2n_p}$ , где интеграл вычисляется по площади  $F_p$  расчётного сечения,  $b$  — текущая ширина расчётного сечения на радиусе  $r$ . Средний момент скорости на выходе из подвода  $(rV_u)_{\text{подв}} = Q_p/mA_p$ , где  $m = 7$ . Площади промежуточных сечений пропорциональны углу расположения сечения, считая от языка подвода. Пренебрегая трением на коротком участке выход из отвода — вход в шнек (Ш), примем средний момент скорости перед шнеком  $(rV_u)_{\text{Ш}} = (rV_u)_{\text{подв}}$ .

Чтобы обеспечить заданный кавитационный запас на входе в насос, перед центробежным рабочим колесом (ЦК) установлен Ш. Входной участок Ш рассчитан так, чтобы шнекоцентробежный насос обладал заданной всасывающей способностью. Меридианный поток в Ш считаем равноскоростным. Для выбранного коэффициента запаса по кавитационному срыву  $k_{\text{Ш}} = 1,3$  находим срывной кавитационный запас  $\Delta h_{\text{Ш}} = \Delta h_{\text{доп}}/k_{\text{Ш}} = 1,9 \text{ м}$  и срывной кавитационный коэффициент быстроходности  $C_{\text{Ш}} = n\sqrt{Q}/(\Delta h_{\text{Ш}}/10)^{3/4} = 2400$ . Выбираем втулочное отношение  $\bar{d}_1 = 0,45$ , коэффициент приведенного входного диаметра  $K_0 = D_0/\sqrt[3]{Q/2n} = 4,85$ , число лопастей  $Z = 7$ , а также ход Ш и уг-

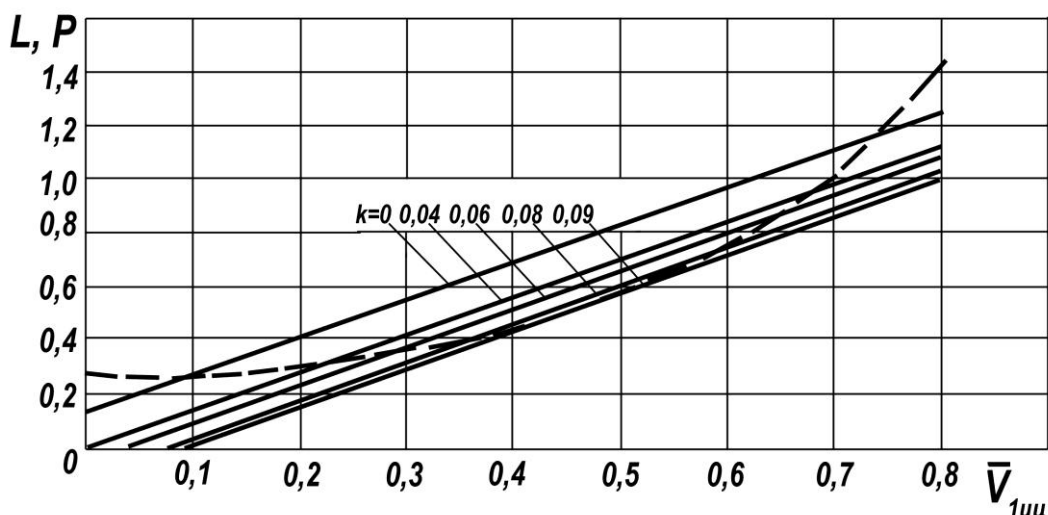
лы установки  $\beta_{1л}$  лопасти на входе в Ш. Эти величины позволяют найти по уравнению Руднева [5] коэффициент кавитации для срывного режима  $\lambda_{III} = \left\{ \left[ \sin \beta_1 + \sqrt{\sin^2(\beta_{1л} - \beta_1) + a \sin(2\beta_1 - \beta_{1л})} \right] / [\sin \beta_{1л} - a] \right\}^2 - 1$ , где  $\beta_1$  — угол относительного потока перед входной кромкой лопасти,  $a = K \sigma_1 / T_1$ ,  $K = 0,18$  — коэффициент проекции силы,  $\sigma_1$  — толщина входной кромки,  $T_1$  — шаг лопастей на входе. Так как уже найденный кавитационный запас  $2g\Delta h_{III} = V_1^2 + \lambda_{III} W_1^2$  связан с абсолютной и относительной скоростями на входе  $V_1$  и  $W_1$ , то можно найти соответствующую толщину входной кромки лопасти  $\sigma_1 = 4$  мм. Для уменьшения осевой длины шнека, число его лопастей выбрано большим  $Z = 7$ .

Выходной участок Ш спроектирован так, чтобы обеспечить бесрывную работу ЦК. Все расчеты ведутся для среднерасходной линии тока  $c$ . Для упрощения записи индекс  $c$  опущен. Принимая во внимание данные [2], запишем условие согласования как  $2g\Delta h_{III} + 2gH_{III} = 2\xi g\Delta h_{III}$ . В этом уравнении  $\Delta h_{III}$  — срывной кавитационный запас перед шнеком,  $H_{III}$  — напор шнека в отсутствие кавитации,  $\Delta h_{III}$  — срывной кавитационный запас центробежного колеса. Коэффициент  $\xi > 1$  учитывает снижение напора Ш вследствие кавитации, а также неравномерность распределения скоростей и давлений перед ЦК. По имеющимся в нашем распоряжении экспериментальным данным  $1,7 \leq \xi \leq 2$ . В последующих расчётах принимается  $\Delta h_{III} = \Delta h_{III}$ . Пренебрегая трением, можно считать, что момент скорости потока на выходе из Ш равен моменту скорости на входе в ЦК. Поэтому напор Ш равен  $H_{III} = \left[ (U_1 V_{1u})_{II} - (U_1 V_{1u})_{III} \right] \eta_{гш}$ , где  $\eta_{гш}$  — гидравлический КПД шнека. Так как  $2g\Delta h_{III} = V_{III}^2 + \lambda_{III} W_{III}^2$ , то из треугольника скоростей на входе в ЦК  $2g\Delta h_{III} = (V_{1u}^2 + V_{1m}^2)_{II} + \lambda_{III} \left[ (U_1 - V_{1u})^2 + V_{1m}^2 \right]_{II} = (1 + \lambda_{III}) (V_{1u}^2 + V_{1m}^2)_{II} + \lambda_{III} U_{1II}^2 (1 - 2V_{1u}/U_1)_{II}$ . Предполагаем, что  $(rV_u)_{2ш} = (rV_u)_{1II}$ . Поэтому  $gH_{гш} = \omega \left[ (rV_u)_{2ш} - (rV_u)_{1ш} \right] = \omega \left[ (rV_u)_{1II} - (rV_u)_{1ш} \right]$  или  $gH_{гш} = U_{1II} V_{1uII} - U_{1ш} V_{1uш}$ . После подстановок в условие согласования и деления на  $U_{1II}^2$  получим записанное выше условие согласования в безразмерных величинах для средней линии тока  $c$ :  $L = \overline{\Delta h}_{III} + 2(\overline{V}_{1uII} - \overline{(rV_u)}_{1ш}) \eta_{гш} = \xi \left[ (1 + \lambda_{III}) (\overline{V}_{1mII}^2 + \overline{V}_{1uII}^2) + \lambda_{III} (1 - 2\overline{V}_{1uII}) \right] = P$ .

В этом уравнении относительный кавитационный запас, коэффициент расхода, коэффициент закрутки потока на входе в центробежное колесо соответственно равны:

$$\overline{\Delta h}_{III} = 2g\Delta h_{III}/U_{1II}^2; \overline{V}_{1uII} = V_{1uII}/U_{1II}; \overline{(rV_u)}_{1ш} = \omega(rV_u)_{1ш}/U_{1II}^2; \overline{V}_{1mII} = V_{1mII}/U_{1II} \dots$$

Слагаемое  $(\overline{rV_u})_{1ш}$  в левой части уравнения условия согласования в безразмерных величинах для средней линии тока  $s$  при прочих равных условиях зависит только от  $(rV_u)_{1ш}$ . При увеличении этой величины прямая  $L$  сдвигается вниз вдоль вертикальной оси. График согласования шнека с центробежным колесом при работе шнека с разными входными моментами, создаваемыми полуспиральными подводами, представлен на рисунке. При  $K=0$  шнек согласуется с центробежным колесом в широком диапазоне  $0,1 < \overline{V}_{1шц} < 0,73$ , а при  $K=0,09$  нет согласования.



Согласование шнека с центробежным колесом при работе шнека со входным моментом скорости для насоса НМП 3600-78

Выбрав по статистическим данным ширину ЦК, угол установки и толщину лопасти на выходе, находим наружный радиус колеса. По теории гидродинамических решеток лопастей, изложенной в работах [6, 7], радиус

$$\text{ЦК } R_2 = \frac{V_{2m}}{2\omega y \psi_2 \operatorname{tg} \beta_{2л}} + \frac{1}{\omega} \sqrt{\frac{1}{y} \left( \frac{gH_T}{1-k} + \omega (rV_u)_1 \right) + \left( \frac{V_{2m}}{2y \psi_2 \operatorname{tg} \beta_{2л}} \right)^2}. \quad \text{В этом}$$

уравнении коэффициенты  $k$  и  $y$  определяются по номограммам [6], а  $H_T = H/\eta_r$ ,  $V_{2m} = Q_k/2\pi R_2 b_2$ .

Далее по формуле Ломакина [4] и опытными данными оценены, гидравлический КПД насоса  $\eta_r = 0,89$ , рассчитаны объемный  $\eta_o = 0,987$  и механический КПД  $\eta_m = 0,98$  насоса. Поэтому полный КПД насоса  $\eta = 0,86$ . Профилирование лопастей выполнено методом конформных отображений в соответствии с программой [9]. Лопасти пространственные на входе и цилиндрические на выходе.

Для разгрузки ЦК от радиальной силы на нерасчётных режимах в насосе применен двухвитковый спиральный отвод. Размеры расчётного сечения найдены из условия, что в расчётном сечении  $rV_u = \text{const} = (rV_u)_2$ .

Площади промежуточных сечений выбраны пропорционально углу расположения сечений, считая от языка. Площадь обводного канала примерно постоянна по его длине, как рекомендуется в [8] и равна площади расчетного сечения. К спиральному отводу примыкает прямоосный диффузор с эквивалентным углом раскрытия  $14^\circ$ .

**Экспериментальные характеристики.** На экспериментальном стенде получены энергетическая и частная кавитационная характеристики для расчетного режима. Насос обеспечил требуемые напор, КПД и кавитационный запас.

Следовательно, предложенный способ расчета шнекоцентробежного насоса с полуспиральным подводом дает приемлемые результаты и рекомендуется для практического применения.

### Литература

1. *Байбаков О.В., Руднев С.С.* Расчет рабочего колеса и подвода лопастного насоса: Учебное пособие по курсовому и дипломному проектированию / Под ред. И.В. Матвеева. — М.: Изд-во МВТУ, 1983. — 46 с.
2. *Высокооборотные лопаточные насосы* / Под ред. Б.В. Овсянникова и В.Ф. Чеба-евского. — М.: Машиностроение, 1975. — 336 с.
3. *Кузнецов А.В., Панаиотти С.С., Савельев А.И.* Автоматизированное проектирование многоступенчатого центробежного насоса: учебное пособие. М.: Изд-во МГТУ им. Н.Э. Баумана, 2005. — 124 с.
4. *Ломакин А.А.* Центробежные и осевые насосы. М. — Л.: Машиностроение, 1966. — 364 с.
5. *Руднев С.С.* Кавитация в решетке профилей конечной толщины // Лопастные насосы. Л.: Машиностроение, 1975. — С. 198–209.
6. *Руднев С.С.* Основы теории лопастных решеток. М.: Ротапринт МВТУ, 1976. — 78 с.
7. *Руднев С.С., Матвеев И.В.* Методическое пособие по курсовому проектированию лопастных насосов. М.: Ротапринт МВТУ, 1974. — 72 с.
8. *Степанов А.И.* Центробежные и осевые насосы. М.: Машгиз, 1960. — 464 с.
9. *Тимофеев Д.В., Савельев А.И., Панаиотти С.С.* Автоматизированное профилирование лопастей центробежных рабочих колес: Учебное пособие / под ред. С.С. Панаиотти. М.: Изд-во МГТУ им. Н.Э. Баумана, 2003. — 68 с.

**Жукова Ольга Игоревна** – студент КФ МГТУ им. Н.Э. Баумана. E-mail: zhukova.zhukova.oi@ya.ru.

**Панаиотти Сергей Семенович** – д-р техн. наук, профессор КФ МГТУ им. Н.Э. Баумана. E-mail: panaiotti@post.ru.

## **СЕКЦИЯ 10.**

### **ИНФОРМАЦИОННЫЕ ТЕХНОЛОГИИ**



## **ПРОГНОЗИРОВАНИЕ ОБЪЕМА РЕАЛИЗАЦИИ УСЛУГ ПРИ УЧЕТЕ СЛУЧАЙНОГО ХАРАКТЕРА ФАКТОРА ТЕМПЕРАТУРЫ НАРУЖНОГО ВОЗДУХА**

КФ МГТУ им. Н.Э. Баумана, Калуга, 248000, Россия

*Показана невозможность учета случайного характера всех исходных факторов традиционными методами прогнозирования объема реализации услуг субъектов естественных монополий. Рассмотрена модель учета неопределенности исходных данных при прогнозировании объемов потребления электроэнергии населением с учетом случайного характера фактора температуры наружного воздуха. Получены результаты обработки всех исходных данных, проведена проверка значимости предложенной модели и предлагается разделить исходные данные на группы, соответствующие разным периодам времени года. Произведен расчет точечных оценок модели с учетом погрешностей в значениях объемов потребления электроэнергии и в значениях температуры наружного воздуха. С целью повышения точности прогнозных значений показана необходимость группировки значений объемов реализации услуг субъектов естественных монополий в соответствии с периодом времени года.*

**Ключевые слова:** *прогнозирование, объем реализации услуг, факторы неопределенности, методы конъюнктного анализа*

В составлении экономических прогнозов огромное распространение получили формализованные методы прогнозирования, базирующиеся на математической теории, которая обеспечивает повышение достоверности и точности прогнозов, значительно сокращает сроки их выполнения, позволяет облегчить деятельность по обработке информации и оценке результатов. В составе формализованных методов прогнозирования выделяют методы экстраполяции и методы математического моделирования [1].

Прогнозирование объемов реализации услуг включает процедуру выбора оптимального вида функции, описывающей исходные данные. Процедура выбора функции заключается в подборе по исходным данным формы зависимости (линии), которая обеспечит наименьшие отклонения данных от соответствующих расчетных значений, находящихся на линии. Расчет параметров для конкретной функциональной зависимости осуществляется методом наименьших квадратов (МНК). Выбор функциональной зависимости

в каждом конкретном случае осуществляется в соответствии с рядом статистических критериев. Наибольшее распространение в практических исследованиях получили следующие функции: линейная, квадратичная, степенная, показательная, экспоненциальная. Особенно широко применяется линейная или линеаризуемая, т.е. сводимая к линейной форме, как наиболее простая и в достаточной степени удовлетворяющая исходным данным.

В традиционных методах прогнозирования объема реализации услуг субъектов естественных монополий факторы неопределенности либо не учитываются вообще, либо учитываются неявно, что в значительной степени приводит к неполноте и неадекватности учета этих факторов.

Рассмотрим задачу определения оценок параметров линейной модели  $y_i = a + bx_i + \varepsilon_i$ ,  $i = \overline{1, n}$ , где  $\varepsilon_i$  – случайная ошибка, имеющая нормальное распределение. Данная постановка является классической регрессионной задачей, которая решается МНК.

МНК позволяет получить такие оценки параметров, при которых сумма квадратов отклонений наблюдаемых значений величины  $y_i$  от теоретических значений  $\hat{y}_i$  была бы минимальна, т.е.

$$F = \sum_{i=1}^n (y_i - \hat{y}_i)^2 \rightarrow \min.$$

В регрессионном анализе переменные  $x$  являются детерминированными. На практике это требование очень часто не выполняется, поэтому возникает необходимость учета погрешностей аргумента  $x$ . Неучет погрешностей даже части исходных данных приводит к смещенным и несостоятельным оценкам. В задачах аппроксимации это приводит к неверным оценкам параметров, а как следствие, к неверным выводам [2].

В математической статистике для учета погрешности, как в значениях функции, так и в значениях ее аргумента при оценивании параметров математических моделей разработан ряд методов, которые относятся к методам «измерения с ошибками». Методы конфлюэнтного анализа (МКА) являются обобщением регрессионных методов, в которых учитывается случайный характер значений функций  $y$  и значений аргумента  $x$ .

Одним из природно-климатических факторов, оказывающим значительное влияние на объем реализации услуг субъектов естественных монополий является температура воздуха.

Рассмотрим потребление электроэнергии населением Калужской области  $E$  при изменении температуры воздуха  $t$ . Полагаем, что исходные данные, отражающие потребление электроэнергии населением Калужской области и соответствующие значения температуры воздуха, описываются линейной функциональной зависимостью [3].

Модель оценивания параметров с учетом погрешностей, как значений функции  $E$ , так и значений аргумента  $t$  имеет вид:

$$\begin{cases} E_i = a + b\xi_i + \varepsilon_i, \\ t_i = \xi_i + \delta_i \end{cases}, i = \overline{1, n}, \quad (1)$$

где  $\varepsilon_i$  и  $\delta_i$  – случайные величины, характеризующие ошибки значений  $E_i$  и  $t_i$  соответственно;  $\xi_i$  – неизвестные (истинные) значения  $t_i$ .

Предположим, что ошибки измерений  $\varepsilon_i$  и  $\delta_i$  – нормально распределенные случайные величины с нулевыми средними значениями, с дисперсиями  $\sigma^2(y_i)$  и  $\sigma^2(x_i)$  соответственно и коэффициентом корреляции  $\rho_i = 0$ .

Оценки параметров  $a$  и  $b$  находятся из условия минимума функционала

$$F = \frac{1}{2} \sum_{i=1}^n \frac{(E_i - a - bt_i)^2}{\sigma^2(E_i) + b^2 \sigma^2(t_i)}. \quad (2)$$

Значения  $\xi_i$  определяются по формуле:

$$\xi_i = \frac{\sigma^2(E_i)t_i + b\sigma^2(t_i)(E_i - a)}{\sigma^2(E_i) + b^2\sigma^2(t_i)}. \quad (3)$$

В модели (1) и в формулах (2)–(3) средние квадратические отклонения  $\sigma(E_i)$  и  $\sigma(t_i)$  принимались равными:  $\sigma(E_i) = 0,1 \cdot E_i$  и  $\sigma(t_i) = 0,1 \cdot x_i$  соответственно.

В результате решения системы уравнений (2)–(3) были определены параметры уравнения прямой:

$$E = 36961826,2 - 608207,9 \cdot t. \quad (4)$$

На рис. 1 приведены результаты обработки исходных данных: прямая соответствует уравнению (4); знаками «+» показаны исходные данные.

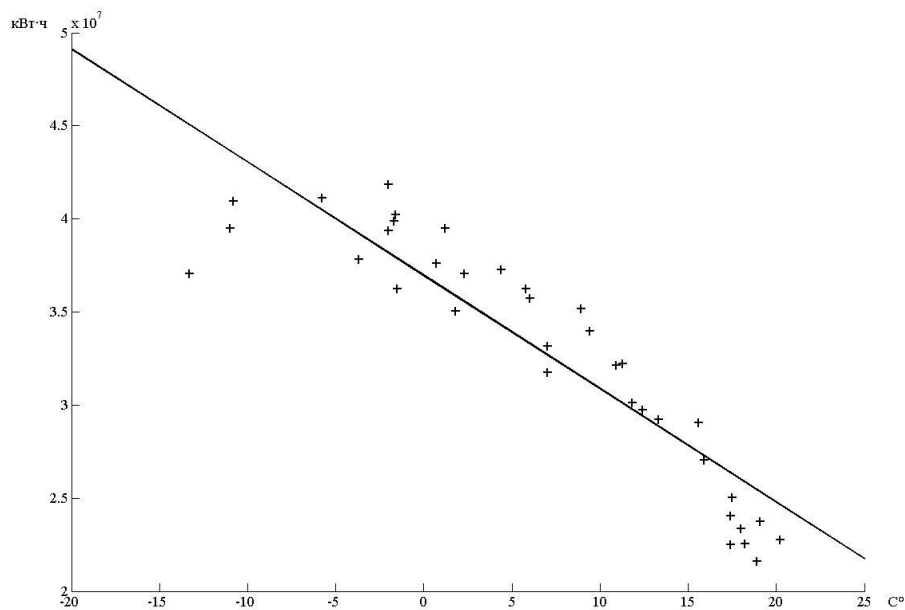


Рис. 1 – Результаты обработки данных: потребление электроэнергии населением при изменении температуры воздуха

После нахождения оценок параметров прямых проверим значимость уравнения (4), т.е. установим, соответствует ли математическая модель, выражающая зависимость между переменными, экспериментальным данным. Проверку значимости уравнения произведем на основе дисперсионного анализа, согласно которому сумма квадратов отклонений переменной  $E$  от среднего значения  $\bar{E}$  может быть разложена на две составляющие [88]:

$$\sum_{i=1}^n (E_i - \bar{E})^2 = \sum_{i=1}^n (\hat{E}_i - \bar{E})^2 + \sum_{i=1}^n (E_i - \hat{E}_i)^2,$$

или в другом виде:  $S_{общ} = S_{факт} + S_{ост}$ ,

где  $S_{общ}$  – общая сумма квадратов отклонений зависимой переменной от средней;  $S_{факт}$  и  $S_{ост}$  – соответственно сумма квадратов, обусловленная регрессией, и остаточная сумма квадратов, характеризующая влияние неучтенных факторов.

Разделив суммы квадратов отклонений на соответствующее число степеней свободы, получим общую, факторную и остаточную дисперсии.

Оценку значимости уравнения можно определить с помощью  $F$  – критерия Фишера-Снедекора. Проверим, выполняется ли условие:

$$F_{набл} > F_{кр}, \quad (5)$$

где  $F_{набл} = D_{факт} / D_{ост}$  – наблюдаемое значение критерия;

$D_{факт} = \sum_{i=1}^n (\hat{E}_i - \bar{E})^2 / (p-1)$  – факторная дисперсия;  $D_{ост} = \sum_{i=1}^n (E_i - \hat{E}_i)^2 / (n-p)$  –

остаточная дисперсия;  $F_{кр} = F_{\alpha; k_1; k_2}$  – критическое значение критерия;  $F_{\alpha; k_1; k_2}$  – табличное значение  $F$  – критерия Фишера-Снедекора, определяемое на уровне значимости  $\alpha$  при  $k_1 = p-1$  и  $k_2 = n-p$  степенях свободы.

При  $n=36$ ,  $p=2$  и уровне значимости  $\alpha=0,01$  для уравнения (4)  $F_{набл} = 162,7$  и  $F_{кр} = 7,4$ . Условие (5) выполняется, поэтому уравнение (4) является значимым.

Найдем прогнозные значений потребления электроэнергии при предельных значениях температуры с учетом погрешностей исходных данных. В качестве предельных значений возьмем значения температуры воздуха:  $t=-20^{\circ}C$  и  $t=25^{\circ}C$ . В результате были получены следующие значения потребления электроэнергии:

при  $t=-20^{\circ}C$  –  $E=49125984$  кВт\*ч,

при  $t=25^{\circ}C$  –  $E=21756628$  кВт\*ч.

Исходные данные можно разделить на две группы. Одна группа соответствует потреблению электроэнергии в холодный период времени (температура воздуха ниже  $0^{\circ}C$ ), а вторая – теплый период времени каждого года (температура воздуха выше  $0^{\circ}C$ ).

По формулам (2)–(3) найдем оценки параметров модели (1) для двух периодов времени года и получим следующие уравнения:

$$E_{\text{холод.}} = 39596388,2 + 36793,3 \cdot t; \quad (6)$$

$$E_{\text{тепл.}} = 39943671,9 - 853943,2 \cdot t. \quad (7)$$

На рис. 2–3 показаны результаты обработки исходных данных: прямая линия на рис. 2 соответствует уравнению (6), прямая линия на рис. 3 соответствует уравнению (7); знаками «+» показаны исходные данные.

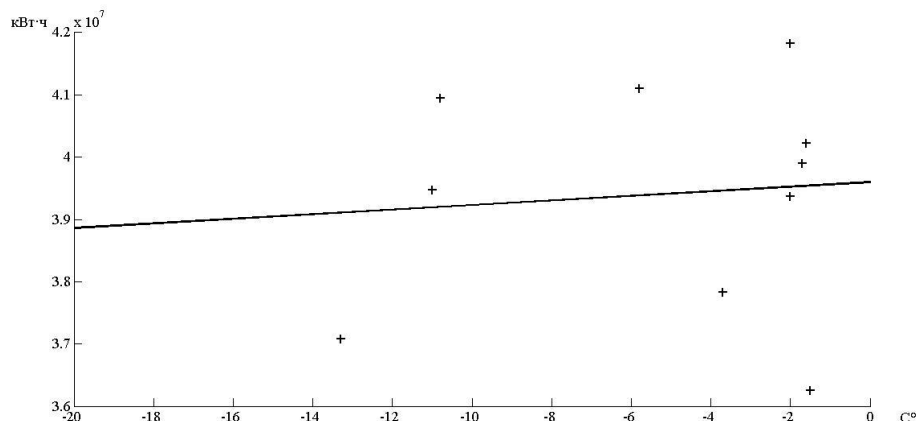


Рис. 2 – Результаты обработки данных в холодный период времени года: потребление электроэнергии населением при изменении температуры воздуха

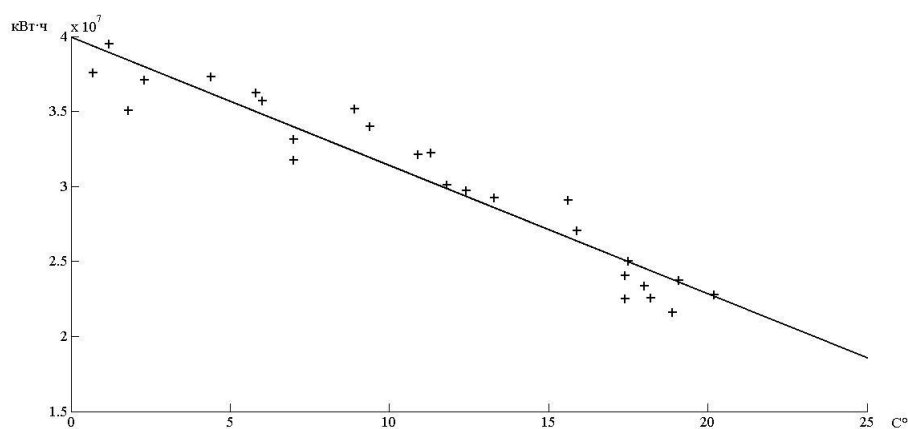


Рис. 3 – Результаты обработки данных в теплый период времени года: потребление электроэнергии населением при изменении температуры воздуха

Найдем прогнозные значений потребления электроэнергии: для холодного периода времени года при  $t = -20^{\circ}C$ , для теплого периода времени года при  $t = 25^{\circ}C$ . По уравнениям (6)–(7) были получены следующие прогнозные значения:

$$\text{при } t = -20^{\circ}C - E = 38860521 \text{ кВт}\cdot\text{ч},$$

$$\text{при } t = 25^{\circ}C - E = 18595096 \text{ кВт}\cdot\text{ч}.$$

Анализ проведенных исследований показывает существенное расхождение прогнозных значений потребления электроэнергии. При  $t=-20^{\circ}\text{C}$  прогнозные значения, полученные при обработке всех исходных данных, превышают прогнозные значения, полученные при обработке данных в холодный период времени года, на 26,4%.

При  $t=25^{\circ}\text{C}$  прогнозные значения, полученные при обработке всех исходных данных, превышают прогнозные значения, полученные при обработке данных в теплый период времени года, на 17%.

Это свидетельствует о необходимости группировки значений объемов реализации услуг субъектов естественных монополий, учета их погрешностей и фактора неопределенности (температуры наружного воздуха) в соответствии с периодом времени года, с целью повышения точности прогнозных значений.

Исследования проведены при финансовой поддержке Российского фонда фундаментальных исследований и Правительства Калужской области (проект № 14-41-03085).

#### ЛИТЕРАТУРА

[1] Карасев А.И., Кремер Н.Ш., Савельева Т.И. *Математические методы и модели в планировании*. Москва, Экономика, 1987, 240 с.

[2] Грешилов А.А. *Математические методы принятия решений*. Москва, Изд-во МГТУ им. Н.Э. Баумана, 2006, 584 с.

[3] Гагарина С.Н., Гагарин Ю.Е. Интервальное прогнозирование объемов спроса на услуги субъектов естественных монополий с учетом неопределенности информации. *Вестник университета (Государственный университет управления)*, 2013, № 22, с. 101-110.

**Гагарин Юрий Евгеньевич** – канд. техн. наук, доцент КФ МГТУ им. Н.Э. Баумана. E-mail: Yriigagarin@yandex.ru.

**Гриценко Надежда Сергеевна** – студент КФ МГТУ им. Н.Э. Баумана. E-mail: NodeshaN@yandex.ru.

**Зайцева Наталья Вячеславовна** – студент КФ МГТУ им. Н.Э. Баумана. E-mail: natalia1zaytseva@gmail.com.

Yu.E. Gagarin, N.S. Gritsenko, N.V. Zaytseva

## **ESTIMATES IMPLEMENTATION SERVICES WITH ALLOWANCE FACTOR RANDOM NATURE OF THE OUTDOOR TEMPERATURE**

Bauman Moscow State Technical University, Kaluga Branch, Kaluga,  
248000, Russia

*The impossibility of taking into account the random nature of the initial factors by traditional methods of forecasting sales volume of services of natural monopolies. A model taking into account the uncertainty of input data in the prediction of electricity consumption, taking into account the population factor of the random nature of the outdoor temperature. The results of processing of all input data, audited and significance of the proposed model is proposed to divide the raw data into groups corresponding to different time periods of the year. The calculation of the point estimates of the model taking into account the uncertainties in the values of electricity consumption in the outdoor temperature. In order to improve the accuracy of the predicted values shown need to group values in sales volume of services of natural monopolies in accordance with the time period of the year.*

**Keywords:** forecasting, sales volume of services, uncertainties, methods of confluence analysis

### **REFERENCES**

- [1] Karasev A.I., Kremer N.Sh., Savelieva T.I. *Matematicheskiye metody i modeli v planirovanii* [Mathematical methods and models in planning]. Moscow, Economics, 1987, 240 p.
- [2] Greshilov A.A. *Matematicheskiye metody prinyatiya resheniy* [Mathematical methods of decision making]. Moscow, Bauman MSTU Publ., 2006, 584 p.
- [3] Gagarina S.N., Gagarin Y.E. Intervalnoye prognozirovaniye obyemov sprosa na uslugi subyektov yestestvennykh monopoliy s uchetom neopredelennosti informatsii [Interval volume forecasts of demand for services of natural monopolies, given the uncertainty of information] *Bulletin of University (State University of Management)*, 2013, № 22, p. 101-110.

**Gagarin Yury Evgenyevich**, Ph. D., Assoc. Professor of Kaluga Branch of Bauman Moscow State Technical University. E-mail: Yriigagarin@yandex.ru.

**Gritsenko Nadezhda Sergeyevna**, student of the Kaluga Branch of the Bauman Moscow State Technical University. E-mail: NodeshaN@yandex.ru.

**Zaytseva Natalia Vyacheslavovna**, student of the Kaluga Branch of the Bauman Moscow State Technical University. E-mail: natalia1zaytseva@gmail.com

Ю.С. Белов, И.С. Силаков

## **MATERIAL DESIGN.**

КФ МГТУ им. Н.Э. Баумана, Калуга, 248000, Россия

Materialdesign–это язык дизайна, разработанный компанией Google и представленный на конференции GoogleI/O25 июня 2014 года. «Вещественный»дизайн– единая концепция построения логики работы и внешнего вида сервисов и приложений, унифицирующая все продукты Google с целью их максимально легкого и интуитивного восприятия пользователями. Materialdesign(прототип показан на рис. 1) стал основой новой версии мобильной платформы Android 5.0, или L.

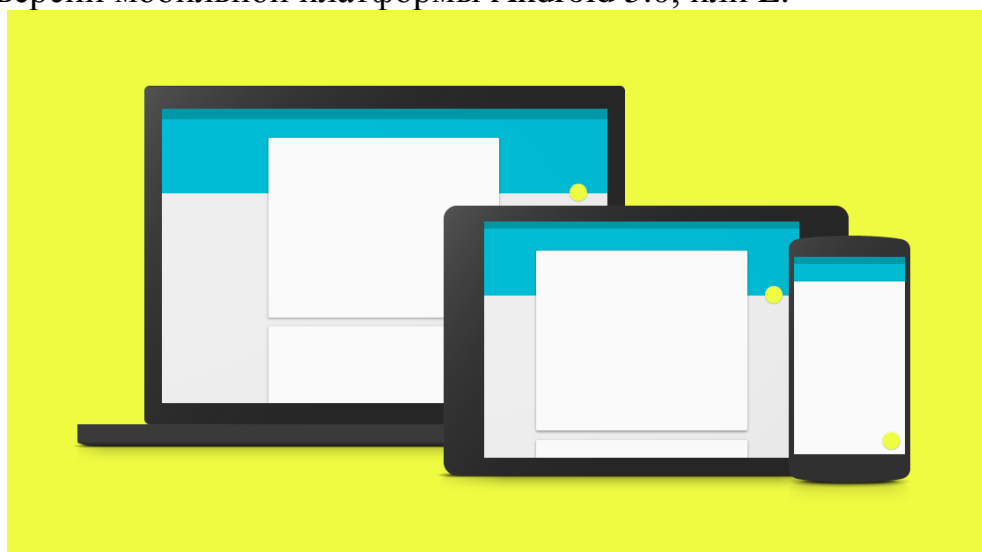


Рис. 1

Компания Googleпоставила перед собой задачу создать визуальный язык для пользователей, который сочетает в себе классические принципы красивого и удобного дизайна с инновациями и техническими возможностями (рис. 2). Это и есть «вещественный» дизайн, который будет обновляться по мере развития особенностей materialdesign.

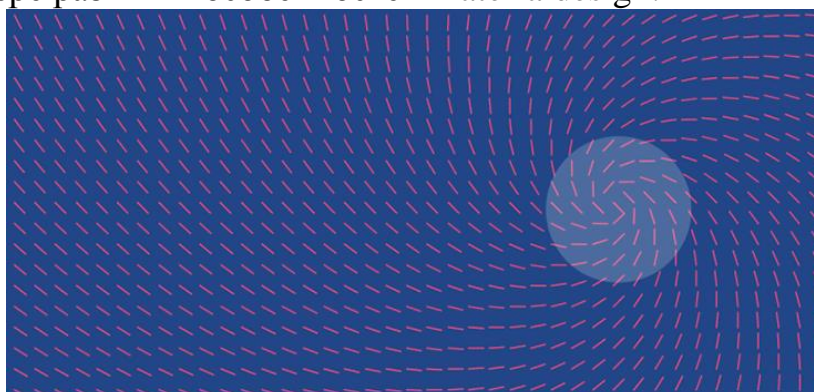


Рис. 2



Также, целью «вещественного» дизайна является разработка ядра системы, которое является общим для разных платформ и устройств с разными размерами экрана (рис. 3). Мобильная платформа является основополагающей, но устройствам ввода таким, как клавиатура, мышь, голосовое управление, сенсорной экран, уделено не меньше внимания.

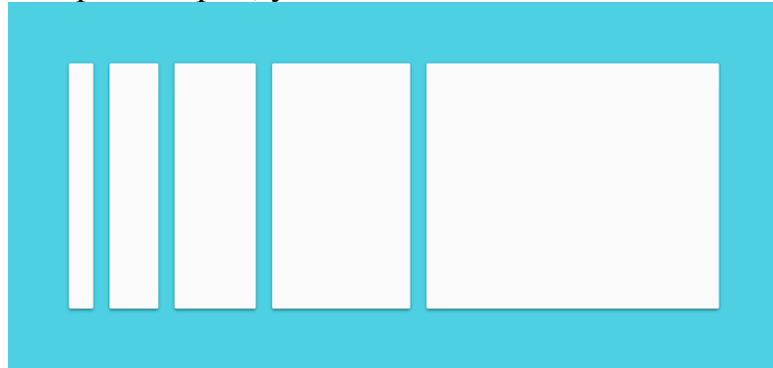


Рис. 3

«Вещественный» дизайн следует следующим принципам:  
Материал – это образ (рис. 4).

Materialdesign является системой, рационализирующей пространство и движение. Дизайн основывается на тактильной реальности, воплощенной виртуально с помощью продвинутых технологий.



Рис. 4

Шрифты, графика, цвета.

Специально подобранные цвета, использование пространства от края до края и крупные шрифты позволяют полностью погрузить пользователя в процесс взаимодействия, сделать его более приятным и понятным. Слишком много размеров шрифтов и стилей могут испортить любой дизайн. Типографская шкала имеет ограниченный набор размеров шрифта (рис. 5). Базовый набор стилей строится на основе размеров шрифта 12sp, 14sp, 16sp, 20sp

и 34sp. SP (scalablepixels) – масштабируемые пиксели. Шрифты с такими размерами учитывают размер шрифта, который установил пользователь.

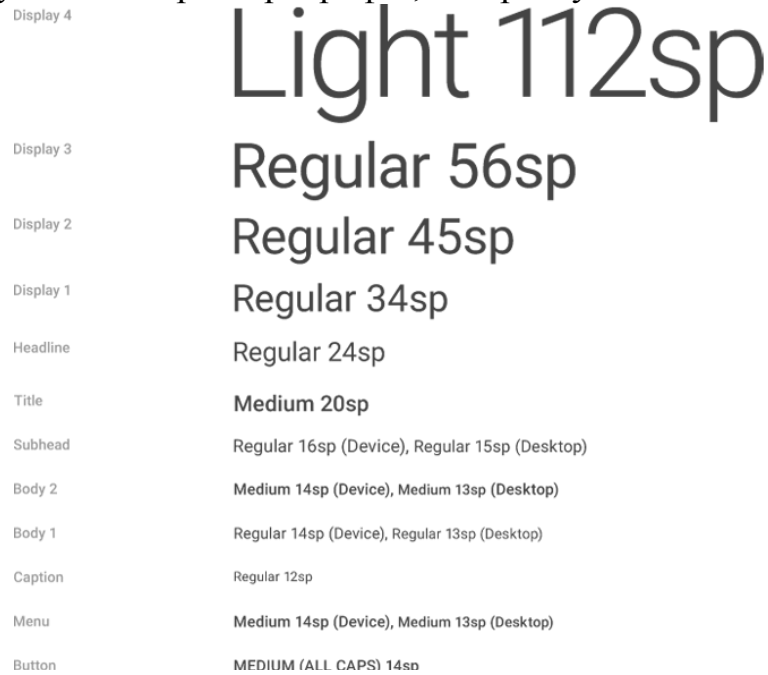


Рис. 5

Движение обеспечивает непрерывность дизайна (рис. 6).

Одним из важнейших аспектов анимации в «вещественном» дизайне является сохранения чувства целостности без ущерба простоте и красоте анимации. Например, в линейной анимации чувствуется механическое воздействие. А анимация с быстрым ускорением и плавным замедлением выглядит естественно и изящно.

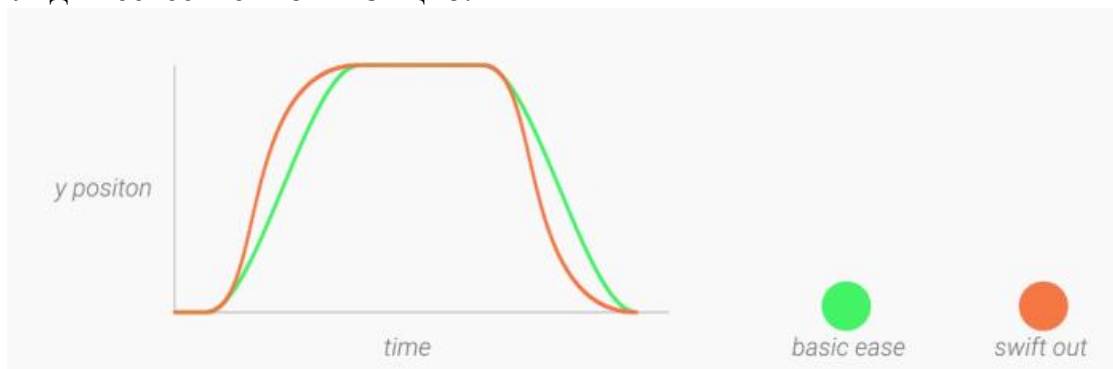


Рис. 6

За Materialdesign стоит гораздо больше, чем просто дизайн AndroidL, AndroidWearи всего остального, к чему причастна компания Google. Речь идет об ощущениях при взаимоотношении человека и технологий.

### Список литературы:

1. Material design. Introduction. URL: <https://www.google.com/design/spec/material-design/> (дата обращения 17.10.2014).
2. Material design. URL: [http://en.wikipedia.org/wiki/Material\\_design](http://en.wikipedia.org/wiki/Material_design) (дата обращения 19.10.2014).
3. Design language. URL: [http://en.wikipedia.org/wiki/Design\\_language](http://en.wikipedia.org/wiki/Design_language) (дата обращения 18.10.2014).
4. RomanPurik.MaterialDesign — история создания, принципы, философия. URL: <http://redroid.ru/about-material-design/> (дата обращения 19.10.2014).
5. ОлегДовбня. Android 5.0 LMaterialDesign. «Материализация» дизайна от Google. URL: <http://androidinsider.ru/os/android-5-0-l-material-design-materializatsiya-dizayna-ot-google.html> (дата обращения 19.10.2014).

**Белов Юрий Сергеевич** – канд. физ.-мат. наук, доцент КФ МГТУ им. Н.Э. Баумана. E-mail: [ybs82@mail.ru](mailto:ybs82@mail.ru).

**Силаков Игорь Сергеевич** – студент КФ МГТУ им. Н.Э. Баумана. E-mail: [kaluganin514@gmail.com](mailto:kaluganin514@gmail.com).

Е.И. Борщова, А.Е. Потапов, А.С. Данилкина

## **АВТОМАТИЗИРОВАННЫЕ БИБЛИОТЕЧНЫЕ ИНФОРМАЦИОННЫЕ СИСТЕМЫ**

КФ МГТУ им. Н.Э. Баумана, Калуга, 248000, Россия

Автоматизированные библиотечные информационные системы (АБИС)[1] – это системы, регулирующие и систематизирующие библиотечные фонды, которые представляют собой упорядоченное собрание изданий, хранящихся и используемых с целью удовлетворения потребностей научных, культурных и образовательных потребностей общества.

Уровень развития общества во все времена определяла культура. Традиционными хранилищами культурного наследия нации были и остаются по сей день библиотеки[2].

Актуальность выбранной темы исследования обусловлена активным информационным процессом в современном обществе. Основная задача, поставленная перед АБИС – реализация максимального числа процессов и операций, поддающихся автоматизации. На данный момент времени[3] не разработан методологический подход выбора той или иной системы под требования конкретно взятой библиотеки. Задача работы заключается в упрощении осуществления выбора наиболее подходящей автоматизированной библиотечно-информационной системы.

В состав АБИС входит[4] реляционная база данных и программное обеспечение, которое взаимодействует с этой базой данных, а также два графических пользовательских интерфейса (первый – для читателей, второй - для сотрудников библиотеки).

Читатель и книжное издание имеют уникальный идентификатор в базе данных, с помощью которых в АБИС можно отслеживать приобретения фондов, выставленные счета и получение изделий, каталогизацию, распространение книг читателям, отслеживать возврат и возможность работы с периодическими изданиями. Функциональные возможности системы зависят от масштабов самой библиотеки.

В работе проведен анализ теоретических сведений создания АБИС, определены критерии сравнения, анализ функциональных возможностей систем и подведение итогов. Результаты позволяют выбрать наиболее подходящий вариант, модернизировать систему или принять решение о индивидуальной разработке.

Выявлены черты, общие для всех АБИС:

1. Системы работают в соответствии с требованиями российских ГОСТов.

2. В основе лежит технология штрихового кодирования для учета изданий и читателей.

3. Реализована работа с мультимедийными документами.

4. Разработаны операции, реализующих корпоративную работу библиотек.

Технологические процессы в библиотеках имеют различия по составу элементов, соответственно имеют различную степень детализации. По этой причине определить полную структуру номенклатуры библиотечных технологических процессов и осуществляемых в них операций можно лишь на основе их классификаций, которые отражены в типовых нормах времени на работы, выполняемые в библиотеках.

На данный момент времени выделено около 500 технологических операций, осуществляемых библиотеками. Из них около 30% сегодня можно автоматизировать. Из этой трети 75% операций уже подвержены автоматизации[5].

Существует значительный разброс в уровне автоматизации библиотечных процессов[6]. Причина этого заключается в том, что разработкой программного обеспечения автоматизированных библиотечно-информационных систем разрозненно занимаются как сами библиотеки, имеющие разную ведомственную принадлежность и функции, так и различные фирмы-разработчики по заданию библиотеки.

На данный момент устранить этот разброс не представляется возможным. Для выработки стандартов автоматизации библиотечных процессов необходимо развивать рынок производителей специализированного конкурентоспособного программного обеспечения, но данное развитие должно получить государственную поддержку.

Выделяются направления, которые можно включить в план по модернизации существующих автоматизированных библиотечно-информационных систем.

Во-первых, реализация обслуживания по межбиблиотечному абонементу. Это важно по той причине, что сотрудничество между библиотеками активно развивается[7]. Поэтому автоматизации должны быть подвержены все технологические операции, а не ограниченное количество, связанное только с обслуживанием читателей. Во-вторых, улучшение качества справочно-библиографического обслуживания[8]. Так же возникает необходимость использовать в больших архивах и хранилищах робототизированную технику, которая так же будет работать на основе технологии штрихового кодирования. Таким образом, найти нужный документ, по требованию системы, станет гораздо проще. Далее издание может быть доставлено в точку назначения по специальному транспортеру.

По результатам исследования можно заключить, что методология выбора, активное развитие технологий и техники позволит усовершенствовать АБИС, автоматизировать те процессы, которые на данный момент ещё не подвергались автоматизации. Правильный выбор АБИС решает проблему управляемости библиотекой, позволяет поднять уровень обслу-

живания читателей библиотеки, дает возможность обмениваться библиографической информацией.

### **Библиографический список**

1. Пилко И.С. *Основы библиотечной технологии*. Москва, Профизлат, 2009, 176 с.
2. Астапович Е.Г. *Библиотечная технология*. Москва, МГИК, 2011, 134 с.
3. Шрайберг Я.Л. *Автоматизированные библиотечно-информационные системы России: состояние, выбор, внедрение, развитие*. Москва, Либерия, 2010, 271 с.
4. Смирнов И. *ЭВМ в библиотеке*. Санкт-Петербург, Библиотекарь, 2011, 225 с.
5. Коровякова И.Д. *Будущее библиотек: информатизация*. Москва, Либерия, 2013, 185 с.
6. Воройский Ф.С. *Современная информационная технология и ее развитие*. Санкт-Петербург, Библиотекарь, 2011, 201 с.
7. Грибов В.Т. *Современное состояние и перспективы автоматизации библиотек на основе АИБС семейства «МАРК»*. Москва, Наука, 2009, 237 с.
8. Мелюхин И.С. *Информационное общество: истоки, проблемы, тенденции*. Москва, Изд-во Москва, 2010, 143 с.

**Борцова Елизавета Игоревна** – студент КФ МГТУ им. Н.Э. Баумана. E-mail: liz.za2012@yandex.ru.

**Потапов Андрей Евгеньевич** – научный руководитель, КФ МГТУ им. Н.Э. Баумана. E-mail: potarov-ae@mail.ru.

**Данилкина Анастасия Сергеевна** – студент КФ МГТУ им. Н.Э. Баумана. E-mail: nastyadanilkina1294@yandex.ru.

В.Е. Вершинин, А.К. Жуков

## **ВАРИАНТЫ МОДЕРНИЗАЦИИ ВОЛОКОННО-ОПТИЧЕСКИХ ЛИНИЙ СВЯЗИ.**

КФ МГТУ им. Н.Э. Баумана, Калуга, 248000, Россия

Трафик в современных сетях растет очень быстрыми темпами. За последние несколько лет можно констатировать следующую тенденцию в развитии Интернет: значительно растет объем передаваемого сетью видеоконтента, постоянно увеличивается популярность сайтов, использующих видеотехнологии представления информации. В результате этого средний объем информации, потребляемой пользователем из Интернет, неуклонно повышается. Поэтому возможность быстрого увеличения пропускной способности сети должна закладываться в ее проект.

Нельзя не принимать во внимание и тот факт, что темпы роста объемов передаваемой по компьютерным сетям информации приводят к быстрому снижению запасов свободных (не используемых) оптоволоконных кабельных линий, проложенных «про запас». В некоторых случаях, в особенности это относится к крупным городам, многие существующие кабельные каналы полностью заполнены и физическое увеличение емкости оптоволоконных кабелей практически невозможно. Быстрое внедрение новых телекоммуникационных сервисов или увеличение объема пропускной способности компьютерных сетей возможно только за счет использования систем уплотнения оптического канала.

На сегодняшний день существуют три легкодоступные и простые для установки и использования технологии спектрального уплотнения или мультиплексирования с разделением по длине волны:

- WDM;
- CWDM;
- DWDM.

WDM (Wavelength Division Multiplexing) это технология для добавления двух или более оптических сигналов с разными длинами волн, передающихся одновременно по одному оптическому волокну и разделяемых на приемнике по длинам волн. Наиболее типичным решением является 2 - канальное WDM, комбинирующее длины волн 1310 нм и 1550 нм в одном волокне. WDM является наиболее экономичным решением при нехватке волокна в кабеле, дающим выигрыш волокна 2 к 1 или 3 к 1 за счет объединения длин волн 1310 нм, 1550 нм и 1490 нм в одном волокне. Емкость двух (или трех) канального WDM ограничена одним или двумя каналами, которые могут быть добавлены к каналу 1310 нм. Дальность такой кабельной системы обычно ограничена потерями в самом коротковолновом канале 1310 нм. На сегодняшний день данная технология считается устаревшей, однако может быть использована в небольших локальных оптических сетях ввиду невысокой стоимости решения.

CWDM (Coarse Wavelength Division Multiplexing) - грубое спектральное мультиплексирование - технология для объединения до 18 длин волн и передачи их одновременно в одном волокне с последующим разделением на принимающей стороне. Стандарт ITU для CWDM определяет 18 каналов от 1271

нм до 1611 нм с расстоянием между соседними каналами в 20 нм. Эта технология наиболее подходит для городских сетей средних размеров с диаметром до 80 км. Так как расстояния между используемыми одновременно длинами волн составляют 20 нм, в таких системах используются относительно недорогие лазеры, что обеспечивает довольно низкую стоимость для подобных решений. Системы CWDM, хотя и являются многоканальными, но не имеют никаких механизмов оптического усиления, поэтому ограничения по дальности определяются каналом с максимальным затуханием.

DWDM (Dense Wavelength Division Multiplexing) - плотное спектральное уплотнение - технология для объединения до 80 (в перспективе до 160) длин волн, передачи их одновременно в одном волокне с последующим разделением на дальнем конце. При скорости передачи на одной волне равной 10 Гбит/с суммарная емкость одного волокна может возрасти до невероятных 1,6 Тбит/с. DWDM требует применения лазеров с очень строгими допусками и стабильностью излучения. Полоса длин волн DWDM занимает от 1528,77 нм до 1565,50 нм с межканальным расстоянием 0,8 нм (в дальнейшем планируется переход на более узкие 50 ГГц каналы с шагом 0,4 нм). В этой же полосе работают легированные эрбием усилители оптического сигнала (EDFA). Там где требуется высокая емкость или передача на большие расстояния, решения DWDM — предпочтительный метод для увеличения емкости волокна. С высокоточными лазерами, оптимизированными для работы в окне 1550 нм (для уменьшения потерь), системы DWDM являются идеальным решением для магистральных сетей. Благодаря использованию EDFA для усиления всех длин волн в DWDM окне, системы DWDM позволяют увеличить протяженность оптического канала до 500 км. Системы DWDM обычно ограничены по дальности 4 - 5 участками усиления из-за шумов усиленного спонтанного излучения (ASE, Amplified Spontaneous Emissions) в EDFA. На длинных участках (> 120 км) может создавать проблемы дисперсия, что требует установки модулей компенсации дисперсии. Полоса DWDM ограничена длинами волн в пределах от 1528 нм до 1565 нм диапазоном усиления EDFA.

Рассмотрим теперь способы борьбы с ограничениями по дальности передаваемого сигнала. Ввиду того что оптический сигнал имеет аналоговую природу передачи, при прохождении через оптическую линию связи, он деградирует из-за дисперсии, потери мощности, перекрестных помех и нелинейных эффектов в волокне и оптических компонентах. Для борьбы с этими нежелательными эффектами используются два распространенных подхода: регенерация и усиление. Регенерация — воссоздание сигнала путем преобразования оптического сигнала в электрический сигнал, его обработка и затем конвертирование обратно в оптический сигнал. Усиление — увеличение амплитуды (мощности) оптического сигнала без преобразования в электрический сигнал.

В доступных на сегодняшний день технологических решениях следует выделить три различных уровня оптической регенерации, которые могут быть применены, чтобы увеличить дальность передачи.

- 1R-amplification - добавляет оптическую мощность к сигналу без воздействия на его форму или синхронность. Для реализации этого уровня используются EDFA, которые просто добавляют фотоны во входящий оптический сигнал на определенной длине волны и фазе этого сигнала. Это не восстанавливает и не ресинхронизирует входящий сигнал. Побочный эффект



применения EDFA — создание шума усиленного спонтанного излучения, который аккумулируется с каждым EDFA в линии и может быть «очищен» только преобразованием оптического сигнала в электрический и обратно. Типичное количество EDFA в каскадном соединении не более 4 или 5.

- 2R-amplification and reshaping - этот уровень усиливает и восстанавливает форму деградированного сигнала. Форма воссозданного сигнала близка к оригинальному сигналу, но длительность временных циклов (синхронность) не восстанавливается. Накопление эффекта джиттера приводящее к потере синхронизации будет ограничивать количество установленных на одной линии 2R регенераторов.

- 3R-regeneration, reshaping and retiming - регенерация вместе с усилением, восстановлением сигнала и оригинальной длительности циклов (синхронности) исходного сигнала, создающая идеальную возможность для увеличения протяженности качественной передачи синхронных и асинхронных сигналов ввиду неограниченного количества 3R регенераторов, которые могут быть установлены на оптической линии.

Очевидно, что в зависимости от протяженности оптической сети, следует выбирать наиболее подходящий уровень оборудования для регенерации.

Подводя итог можно сказать, что использование технологий спектрального уплотнения и мультиплексирования с волновым разделением предоставляет следующие возможности:

- Во-первых, это простота и скорость наращивания емкости сети в будущем.

- Во-вторых, применение xWDM позволяет использовать функции быстрого восстановления на физическом уровне, не прибегая к услугам канального, сетевого и транспортного уровней.

- В-третьих, появляется возможность реализации произвольной топологии мультисервисной сети поверх xWDM. Например, организация топологии звезда между Ethernet коммутаторами поверх xWDM кольца.

Все это позволяет упростить архитектуру (и конфигурацию) мультисервисной сети, перенести функции защиты на более низкий уровень, оставив оборудованию пакетной коммутации функции поддержки и обеспечения клиентских сервисов.

### Список литературы

1. ITU-T Recommendation G.692, Optical interfaces for multichannel systems with optical amplifiers.
2. ITU-T Recommendation G.694.1, Spectral grids for WDM applications: DWDM frequency grid.
3. ITU-T Recommendation G.694.2, Spectral grids for WDM applications: CWDM wavelength grid.
4. ITU-T Recommendation G.695, Optical interfaces for coarse wavelength division multiplexing applications.

**Вершинин Владислав Евгеньевич** – студент КФ МГТУ им. Н.Э. Баумана. E-mail: goliathonline@mail.ru.

**Жуков Антон Константинович** – ассистент КФ МГТУ им. Н.Э. Баумана. E-mail: ant\_it@mail.ru.

А.Н. Шароварко, А.А. Коршунова, А.Е. Потапов

## **ИНСТРУМЕНТЫ РАЗРАБОТКИ МОБИЛЬНЫХ ПРИЛОЖЕНИЙ ПОД УПРАВЛЕНИЕМ ОПЕРАЦИОННОЙ СИСТЕМЫ WINDOWS 8**

КФ МГТУ им. Н.Э. Баумана, Калуга, 248000, Россия

Широкое распространение операционной системы Windows 8 повлекло за собой активную разработку приложений. В связи с этим, было создано большое количество инструментов для разработки приложений. Среди множества средств разработки и фреймворков можно выделить три основные: VisualStudioExpress 2013, MicrosoftAppStudio и Cocos2d-XNA.

VisualStudioExpress 2013 – бесплатная среда разработки для создания приложений на платформе Windows 8. Данная среда разработки позволяет создавать приложения без каких-либо ограничений в интерфейсе и функционале [1]. VisualStudioExpress 2013 содержит в себе полнофункциональный редактор кода, возможность разработки приложения на объектно-ориентированных языках высокого уровня C#, VisualBasic, на прототипно-ориентированном сценарном языке JavaScript, а для разработки пользовательского интерфейса применяют языки разметки XAML, HTML. VisualStudioExpress 2013 предоставляет разработчику приложений Windows 8 следующие типы приложений: UniversalApps, WindowsApps и WindowsPhoneApps.

UniversalApps представляет собой универсальное приложение для работы в операционных системах Windows и WindowsPhone. При создании универсального приложения формируется проектное решение, которое содержит три проекта: один содержит общие параметры приложения для двух операционных систем и два содержат индивидуальные параметры для каждой из операционных систем.

Типы приложений WindowsApps и WindowsPhoneApps представляют собой проектные решения, для соответствующих операционных систем.

Положительными качествами VisualStudioExpress 2013 является:

- Возможность реализации всех требований, поставленных заказчиком
- Возможность разработки многофункциональных приложений
- Легко локализовать готовое приложение
- Возможность контролировать логику приложения
- Возможность тестирования приложения

Недостатками VisualStudioExpress 2013 является:

- Высокие требования к знаниям разработчика
- Сложность работы с графикой и моделями
- Большие ресурсные затраты
- Бесплатный период использования 90 дней

WindowsAppStudio – конструктор для создания контентных приложений. Контентные приложения – тип приложений, который предоставляет пользователю тематическую информацию и различные каталоги. WindowsAppStudio взаимодействует с пользователем через веб-интерфейс. Все данные используемые пользователем при разработке приложения хранятся в облачном сервисе. Для разработки приложений в WindowsAppStudio пользователю необходимо пройти процедуру аутентификации, используя учетную запись Microsoft.

Разработка в WindowsAppStudio позволяет создать приложение за 4 этапа.

- На первом этапе пользователю необходимо выбрать шаблон, соответствующий описанной предметной области приложения.

- На втором этапе пользователю необходимо добавить контент, используемый в приложении.

- На третьем этапе требуется выбрать цветовые палитры и сгенерировать живые плитки, заставки и экраны блокировки приложения.

- На четвертом этапе предоставляется возможность просмотра и редактирования сгенерированного исходного кода.

Подобный подход к разработке приложений позволяет пользователю создавать приложения не имея навыков программирования.

Положительные стороны WindowsAppStudio:

- Интуитивно понятный интерфейс
- Не требует от разработчика навыков программирования
- Низкие ресурсные затраты
- Высокая скорость разработки приложения
- Предоставление разработчику всех необходимых шаблонов разработки
- Автоматическая генерация исходного кода
- Возможность редактирования автоматически сгенерированного исходного кода

Недостатками WindowsAppStudio является:

- Возможность создания приложений только с ограниченным функционалом
- Необходимость оптимизации автоматически сгенерированного кода
- Невозможность работы с графикой и моделями

Cocos2d-XNA – фреймворк для построения игр, приложений, графических интерфейсов интерактивных кроссплатформенных приложений. Работа Cocos2d-XNA основана на использовании спрайтов. Спрайт – растровое изображение, свободно перемещающееся по экрану. Приложение, разработанное с помощью Cocos2d-XNA представляет собой набор сцен, слоев и объектов. Использование сцен и слоев позволяет с наименьшими трудозатратами создать гибкое приложение. Объектами являются все элементы, используемые в приложении и располагаются на слоях.

Примитивы представляемые Cocos2d-XNA:

- Анимация. Предоставление базовых примитивов анимации с использованием спрайтов, поддержка эффектов частиц и шейдерных фильтров.
- Графический интерфейс пользователя. Предоставление базовых элементов графического интерфейса, текстовые поля, кнопки, меню.
- Физическая система. Предоставляет использование 2D графического движка.
- Звук. Предоставление стандартных звуковых библиотек.

Столь широкий выбор предоставленных элементов значительно упрощает и ускоряет разработку приложения.

Положительные стороны Cocos2d-XNA:

- Возможность создания кроссплатформенного приложения
- Предоставление большого количества базовых элементов
- Широкие возможности приложения
- Гибкость приложений
- Простая структура приложения
- Упрощенная работа с графическими эффектами

Недостатки Cocos2d-XNA:

- Высокие требования к знаниям разработчика
- Работа только с 2D графикой
- Малое количество справочной информации

В результате приведенного выше анализа можно сделать вывод, что на сегодняшний день разработчикам мобильных приложений доступно большое количество инструментов для разработки, однако каждый инструмент имеет свои сильные и слабые стороны, и для создания приложения следует выбирать инструмент разработки в соответствии с требованиями к будущему приложению.

### Список литературы

1. Разработка приложений в Visual Studio 2012 для Магазины Windows с помощью набора средств для мультиязычных приложений. URL: <http://msdn.microsoft.com/ru-ru/jj902500.aspx> (дата обращения 21.10.2014).
2. Windows App Studio. URL: <http://appstudio.windows.com/en-us> (дата обращения 21.10.2014).
3. Cocos2d. URL: <http://cocos2d.org/index.html> (дата обращения 21.10.2014).

**Шароварко Андрей Николаевич** – студент КФ МГТУ им. Н.Э. Баумана. E-mail: [dronko93@gmail.com](mailto:dronko93@gmail.com).

**Коршунова Арина Андреевна** – студент КФ МГТУ им. Н.Э. Баумана. E-mail: [korshunovarina@gmail.com](mailto:korshunovarina@gmail.com).

**Потапов Андрей Евгеньевич** – научный руководитель, КФ МГТУ им. Н.Э. Баумана. E-mail: [potapov-ae@mail.ru](mailto:potapov-ae@mail.ru).

А.Н. Воронцов, Ю.С. Белов

## **ПОНЯТИЙНЫЙ АППАРАТ СИСТЕМЫ ЧАСТИЦ КОМПЬЮТЕРНОЙ ГРАФИКИ**

КФ МГТУ им. Н.Э. Баумана, Калуга, 248000, Россия

### **Понятийный аппарат системы частиц компьютерной графики.**

В настоящее время компьютерная графика является междисциплинарной областью знания, которая включает в себя помимо информатики также математику и физику. Если раньше изображение на мониторе было довольно простое, плоское и малореалистичное, то в наши дни многие игры обладают фотореалистичной графикой. И в этом играют немалую роль системы частиц.

Частицы представляют собой средства анимации большой группы сходных между собой объектов взаимодействующих по определенным правилам. Системой частиц принято считать способ представления трехмерных объектов, не имеющих четких очертаний.[1]

Помимо организации и визуализации объектов ими нужно еще и управлять. Поэтому для группы объектов система частиц назначает правила, и задают такие свойства частиц, как срок жизни, скорость, материал и размер. Кроме того, можно из системы частиц выделить небольшую подгруппу и организовать для нее правило, например: на определенной высоте ветер закручивает листья, или осколки под воздействием силы тяжести падают на землю. [2]

Система частиц состоит из трех основных компонентов: излучателя, самих частиц и внешних сил. [2]

*Излучатель* – это точка, в которой зарождаются частицы. Эту точку можно разместить в любом месте сцены. Излучатели можно подвергнуть анимации: они передают свои свойства движения частицам, которые они испускают, либо же оказывают влияние на частицы после их создания.

При порождении излучателем частицы визуализируются в различных геометрических фигурах, либо в плоской многоугольной форме, к которой также относится специальная форма, состоящая из трех пересекающихся многоугольников.

*Частицы* могут быть не только точками, но и такими объектами, как летучие мыши, многоножки, истребители. Для этого лучше всего подойдут частицы сложной произвольной геометрической формы. Такого рода частицы относятся к самому сложному типу частиц и могут принять практически любую форму, в том числе форму для которой потребуются анимация, а также для иерархических групп объектов. Этот тип частиц применяют для группировки большого числа сходных объектов, либо когда свойства частиц другого типа не позволяют получить необходимый эффект. Цикл жизни любых частиц включает в себя рождение, изменение по правилам и уничтожение, которое возникает либо согласно правилам, либо по истечению времени жизни.

Во многих приложениях реального времени часто считается, что частицы не отбрасывают тени друг на друга и на окружающие предметы, также считается, что они не поглощают свет. Если не делать подобных упрощений, то обсчет системы потребует куда больше ресурсов: при поглощении света придется производить сортировку частиц по удаленности от камеры, а при генерации теней необходимо каждую частицу рисовать по несколько раз.

Внешние силы – используются для того, чтобы добиться правдоподобного поведения системы частиц простым процедурным способом. Они имитируют интересные и правдоподобные эффекты при имитации сил природы или эффекты искусственного происхождения: силовые поля и энергетические лучи. Кроме того, на частицы оказывают влияние и отражатели. Они применяются в тех случаях, когда нужно, чтобы частицы взаимодействовали с окружающими объектами. Например, в стакан роняют горсть шариков, они, падая, взаимодействуют друг с другом. Таким образом, отражатели могут вызывать такие эффекты, как отскакивание, отражение, преломление, реакцию на трение, изменение скорости и направления движения частиц. Отражатели могут быть разной геометрической формы, либо составлены из простых геометрических объектов. Кроме того, пространственные характеристики отражателей (место размещения, размеры и форма) могут быть анимированы для того, чтобы имитировать подвижные преграды. Подобный эффект можно наблюдать на примере корабля, пробирающегося сквозь густой туман.

Системы частиц также делятся на две группы: на системы частиц не управляемые событиями и на системы частиц, управляемыми событиями. [2] Системы частиц, в которых реализуется модель неуправляемых событий, как правило, реализуют эффекты, не меняющиеся со временем, например: анимация снегопада, дождя. Но если, допустим мы находимся в помещении, снег залетает через приоткрытое окно и мы его закрываем, то для реализации такого явления нам понадобится система управляемых событий.

Общепринятой реализации системы частиц не существует, поэтому в различных программных продуктах (компьютерные игры, системы визуального моделирования) поведение и внешний вид частиц могут значительно отличаться. [3]

Практически во всех современных компьютерных играх и пакетах трехмерного моделирования применяются простые системы частиц. Однако, система частиц может быть сложной, в таком случае она применяется не только в графике, но и в научных расчетах, если учитывать реальную физику частиц, которая описывается аналитически, либо достаточно точными численными методами, то можно смоделировать к примеру поведение молекул газа. [3]

Системы частиц являются перспективным направлением развития компьютерной графики, и в дальнейшем, по мере улучшения характеристик аппаратной части и оптимизации существующих алгоритмов. Систе-

мы частиц получают дальнейшее развитие в будущем и найдут множество применений в науке, технике и индустрии развлечений

### **Литература.**

[1] The nature of code [Официальный сайт]. URL: <http://natureofcode.com/book/chapter-4-particle-systems/>

[2] DLight.ru - 3D графика и анимация [Форум]. URL: <http://dlight.ru/forums/showthread.php?t=36>

[3] Академик [Сборник энциклопедий]. URL: <http://dic.academic.ru/dic.nsf/ruwiki/682868#sel=>

**Воронцов Антон Николаевич** – студент КФ МГТУ им. Н.Э. Баумана.  
E-mail: [anton.vorontsov1994@yandex.ru](mailto:anton.vorontsov1994@yandex.ru).

**Белов Юрий Сергеевич** – канд. физ.-мат. наук, доцент КФ МГТУ им. Н.Э. Баумана. E-mail: [ybs82@mail.ru](mailto:ybs82@mail.ru).

УДК.004.418

А.А. Карышев

## **РАЗРАБОТКА АВТОМАТИЗИРОВАННОЙ СИСТЕМЫ ЗАКАЗА ВИДЕОКОНФЕРЕНЦИЙ**

КФ МГТУ им. Н.Э. Баумана, Калуга, 248000, Россия

*Анализируются проблемы заказа видеоконференций. Рассматриваются преимущества и недостатки существующих способов заказа видеоконференций. Разрабатывается система, позволяющая автоматизировать заказы видеоконференций, которая взаимодействует с продуктами компании Radvision. Рассматриваются преимущества использования разработанной автоматизированной системы*

**Ключевые слова:** видеоконференция, Multipoint Control Unit, Radvision, интерфейс, структура базы данных.

Использование конференцсвязи является неотъемлемой частью работы крупных компаний. Видеоконференции используются на предприятиях имеющих большой территориальный разброс, например, торговые сети, группы банков или просто предприятия с развитой сетью филиалов.

Видеоконференция - это компьютерная технология, которая позволяет людям видеть и слышать друг друга, обмениваться данными и совместно их обрабатывать в реальном режиме времени. Все это осуществимо благодаря специализированным системам видеоконференцсвязи (ВКС).

Видеоконференция применяется как средство оперативного принятия решения, при чрезвычайных ситуациях, для сокращения командировочных расходов повышения эффективности; проведения судебных процессов, а также как один из элементов технологий телемедицины и дистанционного обучения [1].

Как правило, в комплекс устройств для видеоконференцсвязи состоит из двух частей.

Центральное устройство — кодек с видеочастью и микрофоном, обеспечивающего кодирование/декодирование аудио- и видео- информации, захват и отображение контента. В качестве кодека может использоваться персональный компьютер с программным обеспечением для видеоконференций.

Устройство отображения информации и воспроизведения звука.

Существует два режима работы ВКС, которые позволяют проводить двусторонние (режим «точка-точка») и многосторонние видеоконференции.



На рис.1 представлена схема сети с большим территориальным распределением, в которой присутствует оборудование видеоконференций. Видео конференции управляются сервером Radvision iVIEW.

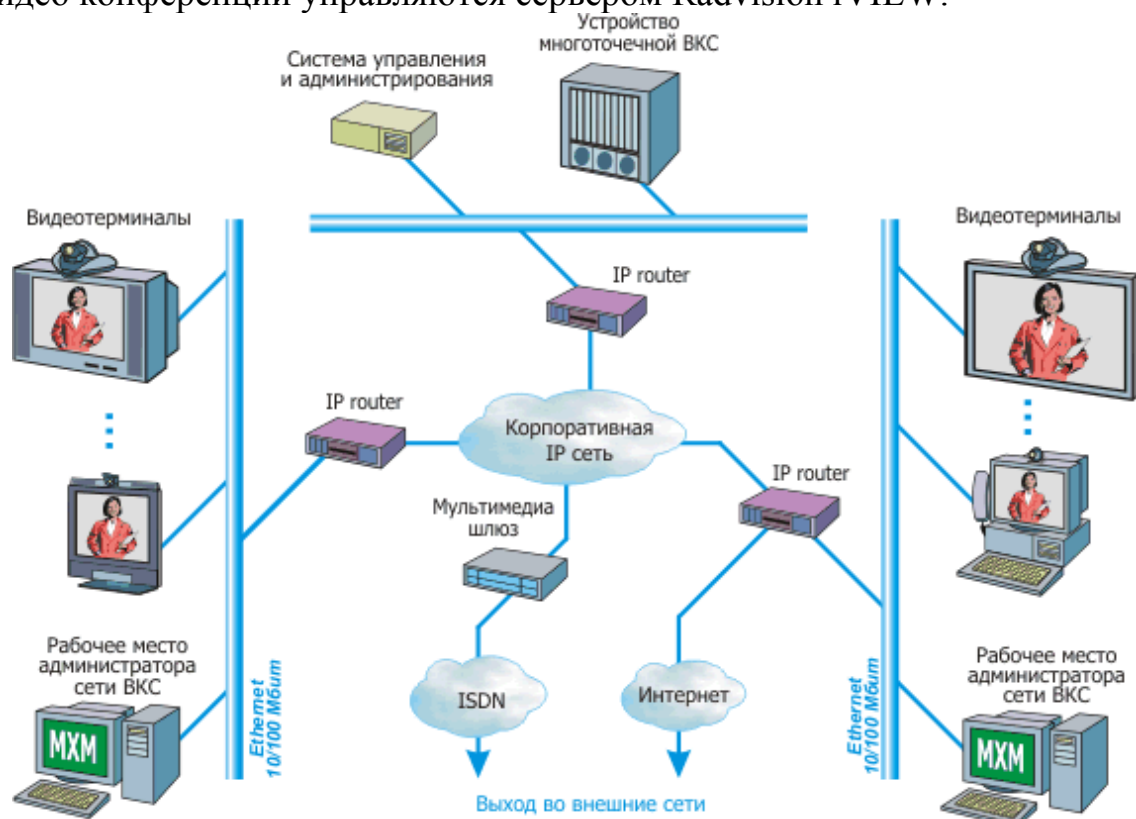


Рис.1. Сеть с оборудованием для видеоконференций

Во время обслуживания серверов видеоконференций часто возникают трудности, связанные с заказом переговоров. Чаще всего заказ производится по телефону или с помощью внутренней почты. Клиенты присылают список выделенных помещений, оборудованных терминалом видео конференций (территорий) и время проведения ВКС, после чего оператор вручную через WEB-интерфейс сервера заносит заявку в список конференций. Зачастую возникают ситуации, когда территории заняты на других конференциях. Для решения конфликта операторам приходится самостоятельно разрешать вопросы с заказчиками. Такие конфликты необходимо разрешать вновь связываясь с клиентом. Данный подход является нерациональным и увеличивает время, которое затрачено на создание заявки и повышает вероятность возникновения ошибки, так как все действия производятся вручную. Из сказанного выше можно заключить, что необходимо до минимума сократить участие оператора, предоставить пользователю возможность самостоятельного создания и изменения заявки, при этом не рискуя безопасностью всей системы. Причем, предоставление конечному пользователю возможности самостоятельного доступа к серверу изначально не рассматривается, поскольку такой способ является не безопасным.

Для решения задачи был разработан программный продукт, который будет являться промежуточным звеном между основным сервером видеоконференцсвязи и пользователем.

Для упрощения доступа пользователей, было принято решение о создании веб-интерфейса, сильно упрощенного, по сравнению с интерфейсом администратора, но дающего необходимый функционал. В качестве языка разработки был выбран PHP, в качестве системы управления базой данных использовался MySQL, программное обеспечение которое успешно взаимодействует с языком PHP.

После анализа структуры базы данных Radvision iVIEW, был сделан вывод о том, что использование непосредственно базы данных iVIEW невозможно из-за изначальной недоступности административного доступа к изменению таблиц и сложности представления данных в таблицах. База данных программы была спроектирована на основе базы данных сервера, но со значительным упрощением.

Интерфейс пользователя разработан на основе веб-страницы, предоставляющей минимальный необходимый функционал для работы системы. Дизайн страниц был использован аналогичный интерфейсу администратора сервера Radvision. Взаимодействие происходит по стандартной клиент-серверной архитектуре, когда клиентская часть запрашивает выполнение действия, запрос обрабатывается сервером, который возвращает клиенту ответ о результате некоторого действия. Для работы программы требуется любой браузер с поддержкой javascript.

Для удобства взаимодействия пользователя с системой был разработан интерфейс состоящий из 3-х основных страниц для пользователя.

Индексная страница. На данной странице расположен список конференций, планируемых к проведению. Здесь пользователь может получить информацию о конференциях, времени их проведения.

Основная страница заказа. На этой странице пользователь может выбрать время конференции, после чего, система начнёт взаимодействие с базой данных, получая информацию о занятости территорий. По окончании появится возможность выбора списка территорий. Результатом этого взаимодействия станет сообщение о возможности или указания причины невозможности оформления заявки.

Страница результатов. При успешном оформлении заявки, появляется сообщение с инструкциями по подключению.

Так же существует несколько служебных страниц для администратора, добавление, удаление и редактирование списка территорий, утверждение заявки и отправка её на создание.

Разработанная программа состоит из ряда скриптов PHP, которые предоставляют пользовательский интерфейс, и скриптов, осуществляющих взаимодействие с базой данных. Взаимодействие между этими скриптами происходит при помощи технологии AJAX, осуществляющей подгрузку

скриптов в фоновом режиме, в зависимости от действий пользователя. Данная схема позволяет быстрее осуществлять взаимодействие пользователя и программы и не ждать отклика сервера, как при обычной отправке формы.

Внедрение системы позволяет решить следующие проблемы

1. Снижение риска ввода неверных сведений. Так как система работает на отдельном сервере с отдельной базой данных, уменьшается риск внесения неверных сведений. В системе будет присутствовать дополнительная система проверки, которая не позволит совершить ошибку в работе с непосредственным сервером.

2. Уменьшение нагрузки на основной сервер. Это происходит за счёт возможности задержки переноса данных заказанной конференции в базу данных сервера.

3. Решение конфликтов. Довольно часто случаются ситуации, в которых происходят пересечения участников одной конференции с другой, система позволит быстро решить эти конфликты, так как заказчик сразу будет видеть конференции, которые мешают созданию текущей, и сможет решить конфликт с заказчиком конкурентной конференции.

4. Графики занятости переговорных. Часто происходят обращения с требованием указать какие из территорий будут свободны на заданное время. Программа позволит без участия оператора выяснить время занятости территории и облегчит выбор необходимых переговорных.

5. Автоматическая рассылка приглашений. При указании непосредственных участников, можно реализовать рассылку уведомлений и приглашений с указанием времени и места проведения конференции, что решит ситуации, когда участники не знают какая из переговорных в пределах одного здания заказана на конкретную конференцию.

6. Интеграция с другими внутренними ресурсами, необходимыми для учёта работ и создания нарядов на обслуживание. В данное время необходимо дополнительно вручную заполнять базу, связанную с учётом. Этот процесс можно так же автоматизировать, добавив перенос данных их программы на все необходимые ресурсы.

### Список литературы

[1] Сайт STEL [Электронный ресурс] [http://www.stel.ru/videoconference/tech\\_vc/prosto/](http://www.stel.ru/videoconference/tech_vc/prosto/) (Дата обращения 01.10.14)

[2] Сайт «Википедия», статья «Видеоконференция» URL: <http://ru.wikipedia.org/wiki/Видеоконференция> (Дата обращения 01.10.14)

[3] Сайт «Википедия», статья «Radvision» URL: <http://ru.wikipedia.org/wiki/Radvision> (Дата обращения 01.10.14)

**Карышев Андрей Анатольевич** – канд. техн. наук, доцент кафедры "Системы автоматизированного проектирования" КФ МГТУ им. Н.Э. Баумана. E-mail: ak9105252055@yandex.ru.

Ю.С. Белов, И.С. Силаков

## РАЗРАБОТКА НАТИВНЫХ ПРИЛОЖЕНИЙ ДЛЯ BLACKBERRY OS 10

КФ МГТУ им. Н.Э. Баумана, Калуга, 248000, Россия

Для платформы Blackberry 10 существует несколько способов создания программного обеспечения. Нативные приложения разрабатываются с использованием фреймворка Cascades, который написан поверх Qt и использует QML, а также отвечает за пользовательский интерфейс (UI). Qt – кроссплатформенные инструменты разработки ПО на языке C++. QML – это декларативный язык программирования, основанный на JavaScript, предназначенный для дизайна приложений, делающих упор на пользовательский интерфейс.

Для разработки игр используются такие игровые движки, как Box2d, Unity, Marmalade. Есть возможность использовать API OpenGL.

Для того, чтобы начать разрабатывать ПО для Blackberry 10, нужно скачать и установить Blackberry Native SDK. Если имеется устройство, работающее под управлением операционной системы Blackberry 10, то можно производить отладку приложения прямо на устройстве через USB-кабель. При отсутствии Blackberry-смартфона, можно воспользоваться симулятором, называемым Blackberry 10 Device Simulator.

Среда программирования Momentics IDE (рис. 1), которая базируется на среде Eclipse, поставляется с Blackberry Native SDK. Фреймворк Cascades интегрирован в среду Momentics и не требует отдельной установки.

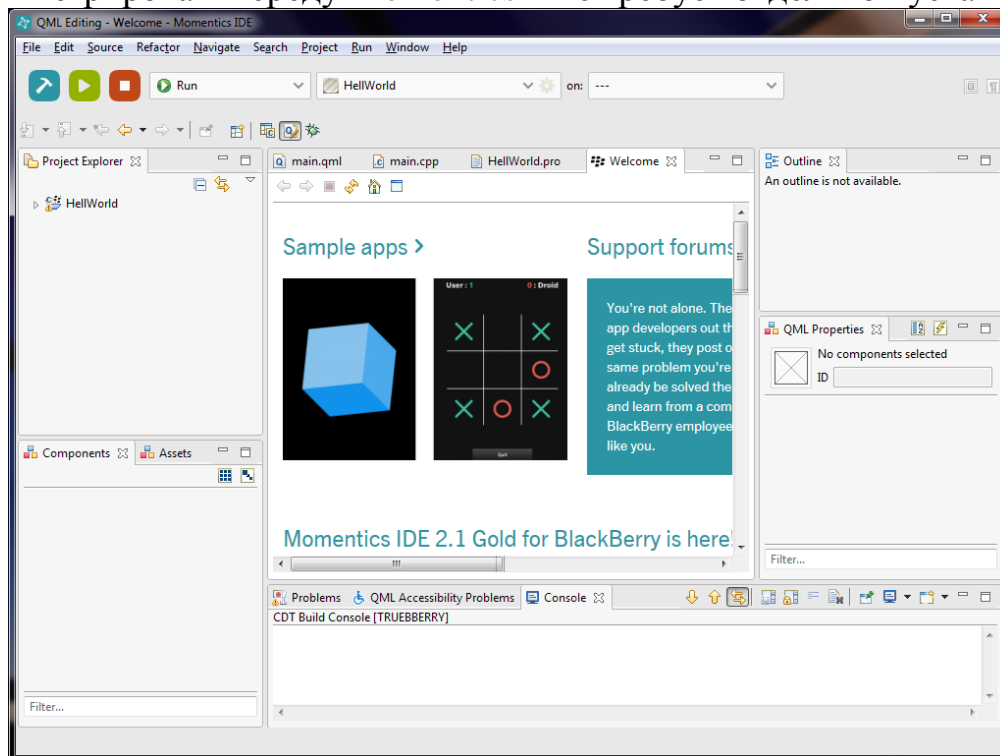


Рис. 1

При создании нового проекта, среда предлагает выбор (рис. 2): использовать Cascades UI или инструменты Core Native.

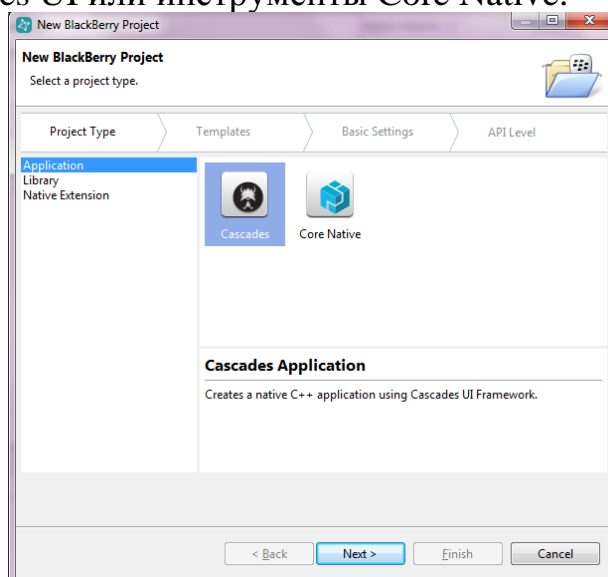


Рис. 2

Второй вариант (рис. 3) используется для создания игровых проектов. Разрабатывать приложения с использованием Core Native APIs и сложно, и нерационально.

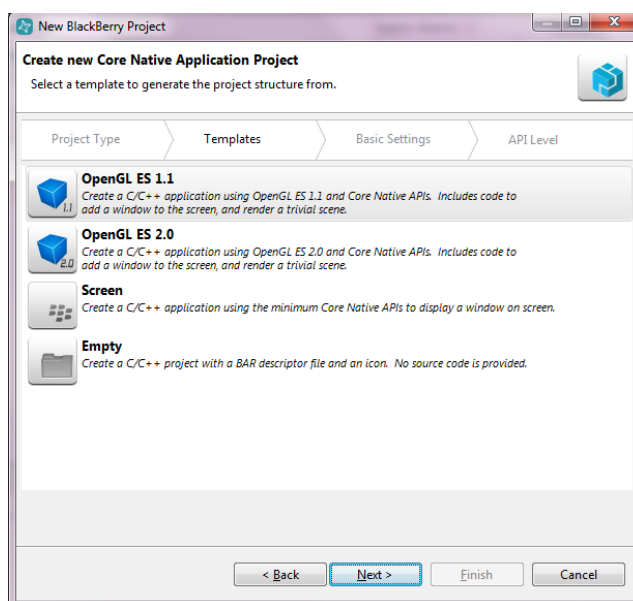


Рис. 3

При создании Cascades приложения появляется окно выбора уровня API (рис. 4).

После создания проекта нужно связать отладку приложения с конкретным устройством или эмулятором.

Без персонального BlackBerry ID Token невозможна отладка приложения с последующей публикацией его в магазине приложений. Это сертификат разработчика, который используется для подписи проекта. Получить BlackBerry ID Token можно после регистрации на сайте разработчика.

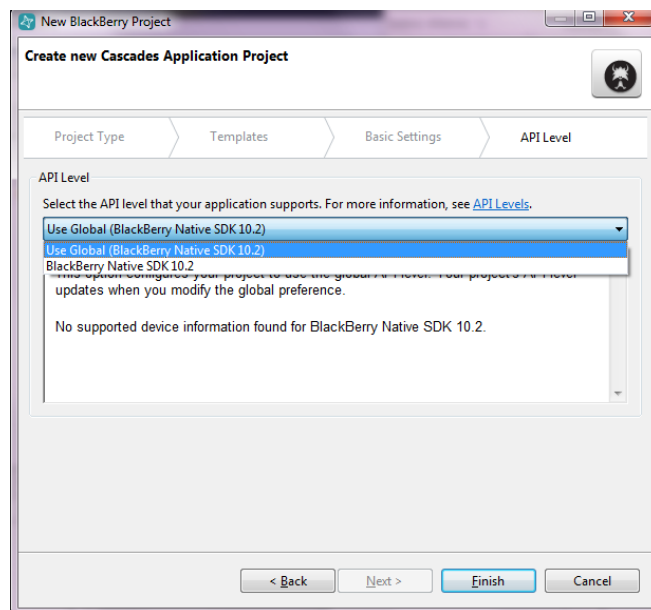


Рис. 4

На данный момент выбор уровня API невелик, выпущено всего несколько версий. Последняя версия SDK на данный момент – 10.3. В ней есть пара интересных нововведений, которые призваны облегчить разработку приложений.

Первое, это Design Units (du) – единицы измерения элементов на экране. Так как операционная система BlackBerry 10 установлена на смартфонах с различным разрешением экрана, то при создании приложений возникает вопрос об адаптивном интерфейсе, и design units решают эту проблему.

Второе, это возможность поменять тему приложения в зависимости от темы, выбранной на смартфоне. Это имеет смысл, потому что в смартфонах BlackBerry используются как LCD экраны (в которых по умолчанию светлая тема), так и OLED экраны (с темной темой).

К прочим нововведениям можно отнести более гибкую возможность настраивать внешний вид элементов управления (переключатели, флажки, кнопки). На этом изменения не ограничиваются, ознакомиться с полным списком нововведений можно на сайте разработчиков BlackBerry.

#### Список литературы:

1. *Anwar Ludin Learn BlackBerry 10 App Development: A Cascades-Driven Approach*. New York City, Apress Media, 2014, p. 343.
2. QML. URL: <http://ru.wikipedia.org/wiki/QML> (дата обращения 15.07.2014).
3. Build astonishing apps with the Native SDK. URL: <http://developer.blackberry.com/native> (дата обращения 16.07.2014).

**Белов Юрий Сергеевич** – канд. физ.-мат. наук, доцент КФ МГТУ им. Н.Э. Баумана. E-mail: [ybs82@mail.ru](mailto:ybs82@mail.ru).

**Силаков Игорь Сергеевич** – студент КФ МГТУ им. Н.Э. Баумана. E-mail: [kaluganin514@gmail.com](mailto:kaluganin514@gmail.com).

А.С. Данилкина, Е.И. Борщова, А.Е. Потапов

## **СЕГМЕНТАЦИЯ В ЦВЕТОВОМ ПРОСТРАНСТВЕ RGB.**

КФ МГТУ им. Н.Э. Баумана, Калуга, 248000, Россия

В настоящее время в связи с широким внедрением персональных компьютеров во все сферы жизни человека большой интерес вызывают идеи, алгоритмы и средства компьютерной графики[2].

На большинстве ЭВМ принят растровый способ изображения графической информации – изображение представлено прямоугольной матрицей точек (пикселов) и каждый пиксел имеет свой цвет[1].

Иногда удобно или привычно точно определить цвет непосредственно в естественном цветовом пространстве отдельного устройства[3]. Назначение цветового пространства заключается в том, чтобы сделать описание цветов некоторым стандартным, общепринятым образом[6].

**Оттенок, насыщенность, значение (HSV).** Главная диагональ куба RGB, от черного в (0,0,0) к белому в (1,1,1) образует ахроматическую ось или шкалу яркости. Если куб повернут так, что белый угол перед зрителем, а черный угол вдали от него, то виден шестиугольник с оттенками, распространяющимися от ахроматической оси. Цветовое HSV пространство использует эту концепцию, чтобы определить угол оттенка, насыщенность и третий параметр - значение, который вполне соответствует светлоте.

**Голубой, Сиреневый и Желтый (CMY).** CMY иногда представляют как пространство цвета, и оно соответствует входным данным для цветовой печати. Однако оно имеет дело с соотношениями реальных пигментов, а не с абстрактными цветами. Кроме того смесь двух цветов является не аддитивной, которая дает представление о CMY как о геометрическом сплошном теле небольшой величины. Разновидность CMY добавляет черные чернила, и называется CMYK. (Черный упомянут как K, а не B, чтобы избежать путаницы с синим в RGB)[3].

**Красный, зеленый, синий (RGB).** Это цветовая модель обычно используется и является входным данным для цветового CRT монитора компьютера. Основные цвета (красный, зеленый, синий) являются отдельными цветами, излучаемыми тремя люминофорами. Это, следовательно, высокоточный прибор; тот же самый цвет будет определен как два различных набора чисел на двух различных мониторах. Эти три параметра имеют количества красного, зеленого и синего света, чтобы излучать, обычно в диапазоне от 0 до 1.

При цветовой сегментации изображений выбор цветовой модели влияет на метод, с помощью которого будет проходить процесс поиска интересующей пользователя области. Поскольку сегментация является той областью, в которой более хорошие результаты обычно достигаются при

работе в цветовом пространстве RGB[4], будем использовать именно эту цветовую модель.

Под сегментацией чаще всего понимается процесс разбиения изображения на отдельные области[4], по некоторому критерию, в нашем случае по цвету. Задача сегментации состоит в том, чтобы определить попадает ли цвет каждого пикселя данного изображения в заданный диапазон или нет.[4] Для того, чтобы классифицировать пиксели таким образом, необходимо иметь в цветовом пространстве некоторую меру сходства. Наиболее простой мерой является евклидово пространство. Выбор различных мер сходства цветов (евклидово расстояние или расстояние Махаланобиса) определяет методики отслеживания цветовых данных. А выбор порога  $D_0$  влияет на уровень выделения областей[5].

Сначала необходимо указать область, содержащую цвета диапазона, который будет использоваться при сегментации. Далее каждый пиксель изображения классифицируется на основе вычисления расстояния от данного пикселя  $a$  к заданному диапазону в пространстве RGB[5].

Евклидово расстояние между точками  $z$ (произвольная точка в пространстве RGB) и  $a$  будет задаваться выражением (1).

$$D(z, a) = \|z - a\| = [(z - a)^T (z - a)]^{\frac{1}{2}} = [(z_R - a_R)^2 + (z_G - a_G)^2 + (z_B - a_B)^2]^{\frac{1}{2}} (1)$$

Нижние индексы векторов  $z$  и  $a$  используются для обозначения RGB компонентов. Геометрическое место точек, где  $D(z, a) \leq D_0$ , представляет собой шар радиусом  $D_0$ . Точки, лежащие на поверхности или внутри шара, соответствуют заданному цветовому критерию, точки за пределами шара – не соответствуют[4].

Таким образом, определяется принадлежность цвета к области интересующего нас цвета. Затем присваивается двум множествам точек на изображении два различных значения, например белое и черное, в итоге получают двоичное изображение, которое представляет результат сегментации[7].

На рисунке 1 представлено исходное изображение, цвета представляющие интерес расположены внутри прямоугольника.



Рис.1 – Исходное изображение



После сегментации в цветовом пространстве RGB, по описанному выше методу, получим следующее изображение - рис.2



Рис.2 – Результат сегментации в пространстве RGB

Сегментация изображений играют важную роль в современных компьютерных системах, поскольку применяется для задач распознавания сцен и выделения или определения объектов, поэтому понимание устройства метода, описанного в данной статье, является наиболее актуальным и важным. В статье был рассмотрен метод сегментации изображения в цветовом пространстве RGB, приведены основные понятия, относящиеся к сегментации, и решена проблема определения цвета к области интересующего пользователя цвета на всем изображении.

#### **Библиографический список**

- [1] Анисимов Б.В., Курганов В.Д., Злобин В.К. *Распознавание и цифровая обработка изображений*. Москва, Высшая школа, 2009, 500 с.
- [2] Шишкин Е.В., Боресков А.В., Зайцев А.А. *Начала комп графики*. Москва, Высшая школа, 2009, 576 с.
- [3] Lilley, C.; Lin, F.; Hewitt, W.T.; Howard, T.L.J. *Colour in Computer Graphics*. Sheffield, UCoSDA, 2010, p.34
- [4] Гонсалес Р., Вудс Р. *Цифровая обработка изображений*. Москва, Техносфера, 2009, с.300-305, 320
- [5] Гонсалес Р., Вудс Р., Эддинс С. *Цифровая обработка изображений в среде Matlab*. Москва, Техносфера, 2010, 606 с.
- [6] Бутаков А., Островский В. И., Фадеев И. Л. *Обработка изображений на ЭВМ/Е*. Москва, Радио и связь, 2010, 270 с.
- [7] Прэтт У. *Цифровая обработка изображений: Пер. с англ.* Москва, Мир, 2009, 312 с.

**Данилкина Анастасия Сергеевна** – студент КФ МГТУ им. Н.Э. Баумана. E-mail: nastyadanilkina1294@yandex.ru.

**Борцова Елизавета Игоревна** – студент КФ МГТУ им. Н.Э. Баумана. E-mail: liz.za2012@yandex.ru.

**Потапов Андрей Евгеньевич** – научный руководитель, КФ МГТУ им. Н.Э. Баумана. E-mail: potarov-ae@mail.ru.

И.В. Дикан, Ю.Е. Гагарин

## СОВРЕМЕННЫЙ ПОДХОД К УЛУЧШЕНИЮ АРХИТЕКТУРЫ ЦП

КФ МГТУ им. Н.Э. Баумана, Калуга, 248000, Россия

На сегодняшний момент существует множество процессорных архитектур, но наиболее популярны только две из них: x86 и ARM, именно они и будут рассмотрены в рамках данной статьи. В статье будет описана разница во внутреннем устройстве архитектур, их особенности и рудименты. Также автор попытается дать свою оценку этих архитектур, предложить своё видение эффективной процессорной архитектуры.

**Архитектура x86.** Процессоры архитектуры x86 начинают свой путь ещё со времён 1978 года. За это время процессоры претерпели огромную эволюцию. Из-за необходимости сохранять обратную совместимость, было создано много обходных приёмов. Некоторые из них ведут своё начало с момента самого выпуска процессора 80386.

Для обработки прерываний и запуска приложений DOS, операционные системы, такие как Windows, OS/2, использовался возврат в реальный режим с использованием контроллера клавиатуры. Позже, с выходом 80386, появился режим виртуального 8086, что также решало проблему совместимости с DOS, но этот способ всё равно был сохранён для обеспечения обратной совместимости.

В процессоре 8086 из-за разрядности адресной шины в 20 бит происходило обрезание верхнего бита. В результате все сегменты, имевшие номер больше F000h оборачивались на сегмент 0000h. Некоторые программы использовали этот трюк, из-за чего впоследствии, когда вышел процессор 80268 с разрядностью адресной шины в 24 бит, оборачивая больше не происходило, а эти программы переставали работать. С целью сохранить совместимость с этими программами, 20-ая линия была сделана отключаемой. Эта особенность переходила и в другие поколения процессоров, но была всё-таки убрана в микроархитектуре IntelNehalem.

Для поддержки различных устройств или их эмуляции был придуман режим системного управления (SMM). При получении какого-либо события процессор приостанавливает выполнения любого кода, даже операционной системы, и передаёт управление SMI-обработчику, таким образом, освобождая ОС от необходимости самостоятельно производить их обработку. Несмотря на всю простоту, это несёт некоторые проблемы:

1. Любой код (как операционной системы, так и пользовательских программ) может быть приостановлен в произвольный момент времени, затрачивая время для выполнения SMI-обработчика. Это может быть проблемой для систем реального времени.

2. Так как этот обработчик является частью BIOS и имеет более высокие привилегии, чем ОС, вполне возможно появление вирусных программ, которые смогут заразить специальные области BIOS и получить полный контроль над всеми ресурсами системы.

Однако для SMM была создана замена – ACPI (усовершенствованный интерфейс управления конфигурацией и питанием). В таблицах ACPI хранятся коды обработки событий, ОС может их прочитать и интерпретировать. Таким образом, ОС может сама выполнять обработчики, когда это потребуется. Но некоторые функции, такие как эмуляция PS/2 клавиатуры через USB, управление кулером процессора и другие, не позволяют полностью убрать SMM из-за необходимости сохранения обратной совместимости.

Начиная с процессора 80286, появился механизм аппаратного переключения контекстов задач, который не был востребован программистами из-за различных минусов его реализации, но поддержка этого механизма сохраняется даже в современных процессорах.

Размер опкода инструкции у процессора 8086 был равен одному байту, то есть всего возможно было закодировать 256 инструкций. Так как объемы памяти тогда были важны, часто в опкод самой инструкции добавлялись также номера регистров, с которыми она работает. В те времена это ограничение казалось большим, но впоследствии выяснилось, что такого количества инструкций недостаточно. Ещё в число опкодов входили так называемые префиксы – специальные опкоды, которые изменяли поведение опкодов, стоящих после них. С увеличением числа команд, количества опкодов стало не хватать. Начали появляться новые префиксы, увеличивающие число способов закодировать инструкцию. С новым набором инструкций AVX был введён специальный VEX-префикс, состоящий из двух или трёх байт. Максимальная длина инструкции теперь стала равна 11 байтам, а в будущем ожидаются команды ещё большей длины.

Все эти особенности и режимы, которые практически никак не используются в настоящее время, только усложняют структуру процессора, увеличивают площадь кристалла, но производители процессоров желают сохранять обратную совместимость.

Отдельно следует отметить непродуманность системы команд. Большинство существующих команд добавлялись к архитектуре как расширения (MMX, SSE, SSE2, SSE3, SSSE3, SSE4A, SSE4.1, SSE4.2, AES, AVX, XOP, FMA3, FMA4 и другие), в результате чего архитектура x86 – самый крупный (если не единственный) представитель архитектуры CISC (компьютер с полным набором команд) на данный момент. Многие команды пришлось добавлять различными обходными приёмами, используя старые/не существующие инструкции в качестве префиксов. В итоге сейчас одна команда может состоять из, скажем, четырёх префиксов. Многие команды попросту избыточны. Однообразности среди команд тоже нет. К

примеру, FPU, ставшее частью архитектуры x86, использует свой собственный набор команд и основано на использовании стека. В итоге увеличение числа команд и усложнение конвейера их обработки привело к тому, что на данный момент x86-процессор – это интерпретатор CISC команд. Каждая команда транслируется процессором в набор более простых команд, которые затем выполняются RISC (компьютер с сокращённым набором команд) ядром. Всё это уменьшает быстродействие и энергоэффективность.

Архитектура ARM. Процессоры архитектуры ARM имеют почти в четыре раза больше регистров (31 против 8), простую систему команд RISC, что упрощает конвейер процессора и увеличивает его быстродействие, уменьшая энергопотребление.

ARM-процессоры используют более эффективный трех-операндный код, позволяя уменьшить число пересылок данных, когда необходимо сохранить значение исходных регистров. Также поддерживаются сдвиги и вращения в инструкциях, что позволяет уменьшить количество обращений к памяти, увеличить плотность кода.

Одной из основных особенностей является условное исполнение инструкций. Каждая инструкция содержит в себе особое 4-битовое поле (предикат). Одно из значений зарезервировано для безусловного исполнения инструкции, остальные – кодируют состояния флагов, при которых инструкция должна быть исполнена. Это позволяет избавиться от инструкций переходов в некоторых ситуациях и ещё сильнее увеличить плотность кода.

В архитектуре ARM отсутствуют многие рудименты, что ещё больше упрощает строение процессора, такие как, к примеру, сегментация памяти.

Улучшенная архитектура. Большинство программного обеспечения в наши дни создаётся с помощью компиляторов/интерпретаторов. Если раньше многие команды в ассемблере x86 использовались для упрощения кода, то теперь в этом нет смысла: компилятор может сгенерировать любые последовательности инструкций, переупорядочить их, сделать любые другие трансформации. Новые наборы команд в архитектуре x86 сейчас – лишь способ экстенсивно увеличить производительность процессора, вместе с тем они ещё больше усложняют его строение и конечную стоимость. В пользовательских приложениях все эти новые наборы чаще всего просто не используются из-за желания разработчиков сохранить совместимость с процессорами на старой архитектуре, таким образом, не теряя аудиторию.

ARM использовала в своих процессорах довольно простой набор команд, но всё равно он достаточно сложен, к тому же, появляются новые наборы команд, которые также усложняют архитектуру процессора, например: NEON, VFP, Jazelle, Thumb, Thumb-2 и другие. В итоге, процессоры на архитектуре ARM начинают догонять (если не перегонять) процессоры x86 по сложности.

Несмотря на то, что конвейер ARM-процессоров прост, число его ступеней увеличивается по мере усложнения архитектуры, в связи с чем уменьшается быстродействие.

Наиболее быстрый и энергетически эффективный процессор должен быть построен на архитектуре MISC (компьютер с минимальным набором команд). Регистровый файл не должен быть маленьким, чтобы уменьшить необходимость частой пересылки данных из памяти, но вместе с тем он не должен быть слишком большим, чтобы не замедлять скорость переключения контекста задач. Процессор должен характеризоваться малым числом команд, таким образом, получая простой конвейер. Упор должен делаться на кодогенераторы компиляторов: компилятор должен подсказывать процессору, какая ветка условного перехода выполняется чаще всего (это позволит избавиться от сложного предсказателя переходов); переставлять инструкции наилучшим образом, выбирать инструкции, которые могут выполняться параллельно, и самостоятельно загружать все исполнительные устройства (потребность во внеочередном исполнении команд отпадёт); производить другие всевозможные оптимизации. Чистая и простая архитектура процессора позволит увеличить число ядер, их частоту.

Подводя итог, стоит сказать, что процессор должен иметь максимально простое строение и систему команд, компиляторы должны выполнять всю работу по генерации кода и его оптимизации, а увеличение производительности – вестись за счёт увеличения числа ядер, уменьшения техпроцессов, увеличения частоты процессора.

**Дикан Игорь Вадимович** – студент КФ МГТУ им. Н.Э. Баумана. E-mail: [temtaime@gmail.com](mailto:temtaime@gmail.com).

**Гагарин Юрий Евгеньевич** – канд. техн. наук, доцент КФ МГТУ им. Н.Э. Баумана. E-mail: [Yriigagarin@yandex.ru](mailto:Yriigagarin@yandex.ru).

## **СЕКЦИЯ 11.**

# **ПРОБЛЕМЫ СОВРЕМЕННОЙ ТВЕРДОТЕЛЬНОЙ ЭЛЕКТРОНИКИ**

Пономарев С.В.

## **КОМПЬЮТЕРНОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ ТЕРМИЧЕСКОГО РАСШИРЕНИЯ ФЕРРОМАГНИТНЫХ ПОЛУПРОВОДНИКОВ $ACr_2X_4$**

КФ МГТУ им. Н.Э. Баумана, Калуга, 248000, Россия

*Одним из наиболее актуальных и перспективных направлений исследований для целей спинтроники является исследование переноса спин-поляризованных электронов (спинового транспорта) в гетероструктурах «ферромагнитный полупроводник – немагнитный полупроводник». Большинство исследований посвящено изучению гетероструктур (в том числе сверхрешеток) на основе бинарных халькогенидов европия. Однако область применения подобных структур ограничена низкими температурами магнитного упорядочения ферромагнетика (например, для  $EuS$   $T_C = 16$  К). В связи с этим представляется возможным использовать в качестве спинового инжектора тройные ферромагнетики – шпинели типа  $II-Cr_2-VI_4$ , для которых температуры Кюри на порядок выше. При этом подбор идеальных пар с использованием подобных материалов требует детальных сведений об особенностях их термического расширения, особенно в области магнитного упорядочения.*

**Ключевые слова:** полупроводник, ферромагнетизм, магнитострикция

Существование ферромагнетизма и полупроводниковых свойств, а также наличие сильной взаимосвязи магнитных, электрических и оптических свойств раскрывает широкие возможности для применения халькогенидных шпинелей типа  $ACr_2X_4$  [1]. Материалы  $ACr_2X_4$  могут применяться в интегральных микросхемах, инжекционных лазерах, гетероструктурах, магнитоуправляемых диодах Шоттки, СВЧ – точечных диодах, диодах Ганна и в ряде других применений, которые сейчас трудно предвидеть. Все эти устройства работают в широком интервале температур, следовательно подвержены негативному влиянию термического расширения.

Особый интерес представляет создание магнитоуправляемых гетероструктур на основе концентрированных и разбавленных магнитных полупроводников  $AB_2C_4$ . Подбор идеальных пар с использованием твёрдых растворов на основе тройных немагнитных полупроводников типа  $AB_2C_4$  требует детальных сведений о характере термического расширения используемых материалов [2,3].

Однако в большинстве исследований, посвящённых термическому расширению данных материалов, отсутствуют физические модели, раскрывающие особенности их температурного поведения [2,3].

В данной работе представлены новые физические модели, отражающие основные особенности термического расширения данных материалов: прежде всего это наличие объёмной аномалии, вызванной ферромагнитным порядком соединений  $ACr_2X_4$ .

В модели упругого континуума Дебая и в рамках гармонического приближения среднеквадратичное отклонение атома в кристалле от положения равновесия [3].

$$\langle U_r^2 \rangle = \frac{3\hbar^2}{Mk\Theta} \left( \frac{T^2}{\Theta^2} \int_0^{\Theta/T} \frac{x dx}{e^x - 1} + \frac{1}{4} \right), \quad (1)$$

где  $x = \frac{\hbar\omega}{k_0T}$ , а  $\Theta = \frac{\hbar\omega_0}{k_0}$  – температура Дебая.

В ангармоническом приближении среднеквадратичное отклонение атома в кристалле равно [4]

$$\langle u_D^2 \rangle = \langle U_r^2 \rangle + \langle U_A^2 \rangle = \langle U_r^2 \rangle (1 + 2\gamma\beta T), \quad (2)$$

$\gamma$  - параметр Грюнайзена [1],  $\beta$  - коэффициент термического расширения (КТР). Считая, что решёточный вклад в эффективный объём колеблющегося атома

$$V_{реш} = \frac{4}{3}\pi(R_0 + \sqrt{\langle u_D^2 \rangle})^3, \quad (3)$$

где  $R_0$  – его радиус [4].

В ферромагнитных полупроводниках была обнаружена объёмная аномалия. Эта аномалия может быть объяснена температурной зависимостью обменной стрикции [5]. Рассмотрим магнитный материал с ограниченными моментами и один магнитный атом в котором обменное взаимодействие определяется обменным взаимодействием по Гейзенбергу [6].

$$-2J_{ij}S_iS_j \quad (4)$$

Для магнитного вклада в эффективный объём колеблющегося атома получаем.

$$V_{маг} = -N \frac{3}{2} k_B \frac{dT_c}{dP} \frac{S}{S+1} \left( \frac{\sigma}{\sigma_0} \right)^2 V_{реш} + V_{реш}, \quad (5)$$

$N$  - число частиц в элементарной ячейке,  $\frac{dT_c}{dP}$  - коэффициент давления [7].

Результаты компьютерного моделирования зависимости КТР на примере  $CdCr_2S_4$ , представленные на Рис.1 хорошо согласуются с реальным температурным поведением материалов  $ACr_2X_4$ .



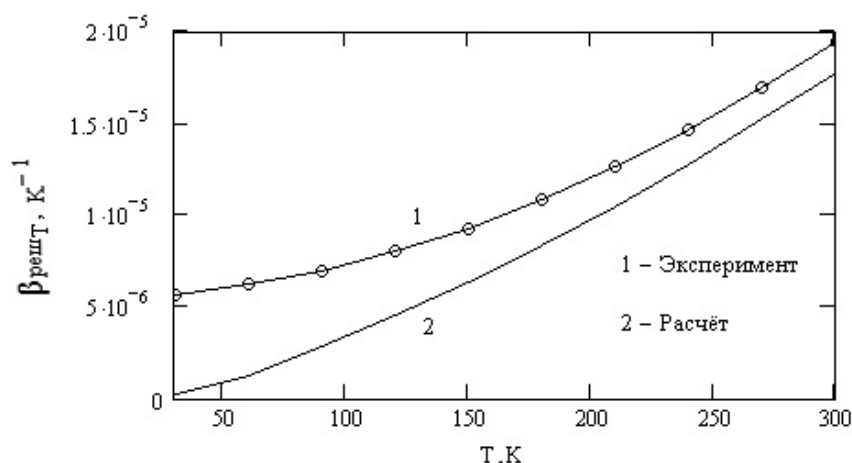


Рис.1. Расчетные и экспериментальные температурные зависимости решеточного вклада в КТР для  $\text{CdCr}_2\text{S}_4$ .

### ЛИТЕРАТУРА

1. К.П.Белов, Ю.Д. Третьяков, И.В. Гордеев, Л.И. Королёва, Я.А. Кеслер. // Магнитные полупроводники – халькогенидные шпинели. М. 1981.
2. Сборник статей. // Магнитные полупроводниковые шпинели типа  $\text{CdCr}_2\text{X}_4$ . Кишинёв « Штиинца ». 1981.
3. Борухович А.С., Виглин Н.А., Осипов В.В // ФТТ. 2002. Т.44, в.5. с.898-905.
4. Rincon C., Wasim S.M., Marin G., Sanchez Perez G., Bacquet G. Temperature dependence of the photoluminescence spectra of single crystals of  $\text{CuInTe}_2$  // J. Appl. Phys. 1997. V. 82. P.4500.
5. Neumann H., Deus P., Tomlinson R.D., Kuhn G., Hintze B. Thermal expansion of  $\text{CuInTe}_2$  to 300K // Phys. Status Solidi A. 1984. Vol. 84. P.87.
6. Deus. P., Neumann H., Kuhn G., Hintze B. Low – temperature thermal expansion  $\text{CuInSe}_2$  // Phys. Status Solidi A. 1983. Vol. 80. P.205.
7. Derollez P., Gonzalez J., Hennion B., Fouret R. Anharmonic properties of the  $\text{AgGaSe}_2$  // Physica 2001. Vol. 305. P. 191.

**Пономарев С.В.** – канд. физ.-мат. наук, доцент КФ МГТУ им. Н.Э. Баумана. E-mail: pionerday@yandex.ru.

## **НАНОИНЖЕНЕРИЯ В РЕГЕНЕРАТИВНОЙ МЕДИЦИНЕ, СОСТОЯНИЕ И ПРОБЛЕМЫ**

КФ МГТУ им. Н.Э. Баумана, Калуга, 248000, Россия

Медицинская наука вступила в период, когда наибольшие успехи достигнуты в лечении тех заболеваний, которые раньше были неизлечимыми. Люди умирают от болезней, а не от старости, причем очень часто в молодом, продуктивном возрасте. Если рано выявлять не болезнь, а факторы риска, которые приводят к заболеваниям, то, занимаясь профилактикой и устраняя факторы риска, можно продлить людям жизнь, делая ее активной и продуктивной. Это и есть технологии молодости, которые работают крайне эффективно. Известный американский промышленник Генри Форд, пытаясь уберечь рабочих своих заводов от травматизма, украшал цеха плакатами: «Рабочий, помни: Бог создал человека, но не создал к нему запасных частей». Что изменилось с тех пор? Если бы Форду (а умер он в 1947 г.) удалось прожить хотя бы на 10 лет дольше, он попытался бы избежать категоричных утверждений, поскольку застал бы зарождение новой области науки – регенеративной биомедицины[1].

Целью работы является анализ данных о современном состоянии исследований в области регенеративной медицины с позиций нанотехнологии.

### **Методы регенеративной медицины**

Для возмещения органов благодаря регенеративной медицине существует много возможностей:

1. Трансплантация тканей (роговицы, кожи)
2. Стимуляция регенерации пораженных тканей (известный препарат эритропоэтин – есть ничто иное, как фактор роста, который стимулирует кроветворные стволовые клетки)
3. тканевая инженерия (когда мы воссоздаём ткань или орган 3D на принципе функционального или гистохимического подхода, т.к. не всегда обязательно восстанавливать точную копию органов, очень часто надо восстанавливать лишь его функцию.)
4. Трансплантация клеток (восстановление функций органов, без восстановления структуры)
5. Создание искусственных органов

Медицина прошлого была направлена, чтобы что-то ингибировать антибиотиками, химиотерапевтическими препаратами, хирургическими подходами, отрезать, уничтожать, оставлять как есть, то регенеративная медицина направлена чтобы восстанавливать что-то. Эта область использует живые клетки, выделенные из тканей или органов, сохраняет их жизнеспособность.

неспособность, в процессе производства появляется новое качество, новая структура, которая будет обладать новыми свойствами.

### **Достижения и перспективы регенеративной медицины**

Достижения регенеративной биомедицины позволят оказать реальную помощь больным, страдающим инсулинозависимым диабетом, нейродегенеративными заболеваниями, мышечными дистрофиями, либо разработать принципиально новые подходы к лечению ряда патологий, таких как инфаркт миокарда, гепатиты и другие заболевания. Современные клеточные технологии вносят существенный вклад в решение вопросов геронтологии, что обеспечит пожилым пациентам улучшение качества жизни, сохранность зрения, состоятельность интеллекта и двигательную активность. Использование новых технологий создаст условия для дальнейшего развития трансплантологии, решит проблему обеспечения иммунотолерантности и определит направление развития медицины на основе новых технологических принципов. Ряд завершенных или находящихся на завершающих стадиях разработки проектов уже в настоящее время востребованы и будут внедрены в клиническую практику.

Регенерация предусматривает самовоспроизведение живой материи, причем это самовоспроизведение живого отражает принцип ауторегуляции и автоматизации жизненных отправления. Регенераторное восстановление структуры может происходить на разных уровнях: молекулярном, ультраструктурном, клеточном, тканевом, органном. Однако всегда речь идет о возмещении той структуры, которая способна выполнять специализированную функцию [2].

Концепция физиологической регенерации предполагает наличие в организме человека компенсаторных резервов в виде специфических стволовых клеток. Целевая стимуляция стволовых клеток приводит к направленной регенерации утраченных структур, восстановлению функций. В настоящее время накоплен значительный объем информации о регуляторных механизмах и дифференцировки стволовых клеток различного типа [3].

Анализ публикационной активности в области регенеративной медицины позволяет сделать вывод о том, что технологическим трендом в этой области является использование рекомбинантных факторов роста. Специфические факторы роста способны избирательно активировать различные компартменты специфических стволовых клеток, что приведет к восстановлению тех или иных функций или структур организма. Такое воздействие является контролируемым, специфичным и дозируемым. Подход к стимуляции целевых клеток или тканей должен заменить использование неспецифических стимуляторов животного или растительного происхождения, тканевых вытяжек, экстрактов, которые не всегда поддаются характеристике и в силу этого не могут соответствовать требованиям обеспечения биобезопасности и доказательной медицины. Использование рекомбинантных факторов роста, цитокинов позволит создать линейку новых продуктов, обладающих специфическим действием, для лечения язв и трофических ран, эпителиальных повреждений, поражений роговицы, предотвращения дегенерации сетчатки, стимуляции мозговых функций, стимуляции остео- и хондрогенеза и др. Современные подходы, применявшиеся ранее в нанотехнологии для синтеза неорганических материалов в

настоящее время проходят апробацию для синтеза биологических систем. Примером может служить специализация стволовых клеток, которые являются основой современной регенеративной медицины.

### **Стволовые клетки в регенеративной медицине**

В настоящее время разработано множество методик применения стволовых клеток для лечения самых различных заболеваний сердечно – сосудистой системы, центральной и периферической нервной системы, печени, иммунодефицитных состояний, заболеваний эндокринной системы и опорно – двигательного аппарата, нарушения репродуктивной функции и др.

Именно клеточные технологии являются основой генной терапии, с которой связаны надежды на разработку индивидуальных схем лечения пациентов с самыми тяжелыми заболеваниями, в том числе наследственными. Клеточные технологии и генная терапия представляют собой наиболее универсальные современные подходы к лечению.

### **Клеточная и тканевая инженерия**

Принципиально новый подход – клеточная и тканевая инженерия, является последним достижением в области молекулярной и клеточной биологии. Этот подход открыл широкие перспективы для создания эффективных биомедицинских технологий, с помощью которых становится возможным восстановление поврежденных тканей и органов и лечение ряда тяжелых метаболических заболеваний человека.

Цель тканевой инженерии – конструирование и выращивание вне организма человека живых, функциональных тканей или органов для последующей трансплантации пациенту с целью замены или стимуляции регенерации поврежденных органа или ткани. Иными словами, на месте дефекта должна быть восстановлена трехмерная структура ткани. Наиболее важным элементом успеха является наличие необходимого количества функционально активных клеток, способных дифференцироваться, поддерживать соответствующий фенотип и выполнять конкретные биологические функции. Источником клеток могут быть ткани организма и внутренние органы. Возможно использование соответствующих клеток от пациента, нуждающегося в реконструктивной терапии, или от близкого родственника (аутогенных клеток). Могут быть использованы клетки различного происхождения, в том числе первичные и стволовые клетки.

### **Возможности практического использования достижений регенеративной медицины.**

Внедрение достижений регенеративной медицины в практику сдерживается отсутствием нормативно-правовой базы в области биомедицины, законодательного регулирования обращения биомедицинских клеточных продуктов, нормативно-правовой и научно-методической основы доклинических и клинических исследований, регистрационной процедуры. Критически важным является отсутствие производственных площадок производства клеточных продуктов, соответствующих современным нормам и требованиям. Ускоренное развитие научно-технологических аспектов платформы «регенеративная медицина» возможно только после создания технологической базы, вклю-

чающей разработку специальных питательных сред, факторов роста российского производства, митогенных и дифференцирующих добавок для управления состояниями клеток, систем производственного и регистрационного контроля, аппаратурно- технологических комплексов и приборов для масштабного культивирования, хранения клеток. Важнейшим компонентом развития новой области является подготовка специалистов как научного, так и производственного и клинического профиля. Успешное развитие регенеративной медицины как наукоемкой области, призванной стать новой технологической платформой медицины будущего, требует комплексного подхода, скоординированных междисциплинарных усилий, а также создания и совершенствования законодательной и нормативной базы для обеспечения разработки, исследований, научной экспертизы, регистрации, производства, контроля качества и медицинского применения биомедицинских клеточных продуктов [3].

### **Заключение**

Успешное развитие регенеративной биомедицины как наукоемкой области, призванной стать новой технологической платформой медицины будущего, требует комплексного подхода, скоординированных междисциплинарных усилий, а также создания и совершенствования законодательной и нормативной базы для обеспечения разработки, исследований, научной экспертизы, регистрации, производства, контроля качества и медицинского применения биомедицинских клеточных продуктов.

В России, к сожалению, развитие этого направления отстаёт от мирового уровня. Нет крупных долговременных программ. При этом расцветают фирмы, не имеющие никакого отношения ни к науке, ни к медицине. Они активно используют «клеточные технологии» в косметологии, стоматологии, в «омоложении организма», но, к науке и медицине это не имеет отношения, это самый примитивный бизнес. За рубежом ( в США, Германии, Англии) уже приняты многие клеточные технологии. Лечение ожогов уже немислимо без выращивания клеток кожи, также восстанавливают кость, хрящ. Китай впереди всех по числу трансплантаций, там пересаживают любые клетки, фактически без ограничений.

Для развития этого важнейшего направления медицины целесообразно использовать методы нанотехнологии, включающие анализ состав – структура и методы самоорганизации в построении вещества.

### **Список литературы**

- 1) <http://cyberleninka.ru/article/n/osobennosti-natsionalnoy-regeneratsii>
- 2) <http://sovetrektorov.ru/>
- 3) <http://www.fesmu.ru/>

**Косушкин Виктор Григорьевич** – д-р техн. наук, заведующий кафедрой "Материаловедение" КФ МГТУ им. Н.Э. Баумана. E-mail: [kosushkin@gmail.com](mailto:kosushkin@gmail.com).

К. Попова, В.Г. Косушкин

## **ОСНОВНЫЕ МАТЕРИАЛЫ НАНОЭЛЕКТРОНИКИ**

КФ МГТУ им. Н.Э. Баумана, Калуга, 248000, Россия

Применение нанотехнологий в производстве становится все более распространенным. Экономически развитые страны проводят не только фундаментальные научных исследований, но и финансируют национально-приоритетные программы по нанотехнологии [1] и инвестируют средства в развитие национальной nanoиндустрии.

Целью работы является рассмотрение некоторых наноматериалов и их применение в электронике, а задачей - наиболее подробное изучение основных методов их получения, особенностей свойств и принципов формирования структур.

### **Основные понятия наноматериалов и их значение в электронике**

Наноматериалы - продукты нанотехнологий, функциональные свойства которых определяются химическим составом, структурой, размером, размерностью и упорядочением составляющих их фрагментов, размер которых принадлежит нанодиапазону. Получение наноматериалов с уникальными свойствами, как правило, основано на формировании тех или иных структур полезные функции которых определяются не только наноразмером, но также и другими уровнями структуры.

### **Достижения и перспективы нанoeлектроники**

Термин «нанoeлектроника» относительно новый и пришел на смену более привычному для старшего поколения термину «микроелектроника». Нанoeлектроника связана с разработкой технологий производства функциональных устройств электроники с топологическими размерами элементов на порядки меньше, не превышающими 100 нм, а иногда и 10 нм. Главной особенностью нанoeлектроники является в первую очередь не простое механическое уменьшение размеров, а то, что для элементов таких размеров начинают преобладать квантовые эффекты, использование которых может стать очень перспективным.

Уже в 70-80 годы в полупроводниковую технику вошли такие наноразмерные структуры как гетеропереходы, сверхрешетки, квантовые ямы и квантовые точки, синтезируемые на основе многокомпонентных соединений изменяющегося состава. Для их создания были разработаны соответствующие технологические процессы, представляющие собой логическое развитие и совершенствование полупроводниковой классики: эпитаксии, диффузии, имплантации, напыления, окисления и литографии. В производство электронных компонентов стали внедряться такие технологии, как молекулярно-лучевая эпитаксия, ионно-плазменная обработка, ионно-лучевая имплантация, фотонный отжиг и многие другие.

В то время, как одни исследователи видят будущее нанoeлектроники за углеродными материалами, другие работают с традиционным кремнием [2.4].

Ученые Кембриджского университета и Японской научно-технической корпорации (Токио) разработали одноэлектронный транзистор. Материалом для острова транзистора служит отдельный кластер аморфного кремния. Проводящий канал транзистора (остров) отделён от стока истока туннельными барьерами из тонких слоёв изолятора, при этом размеры острова- 10 нм. Важной особенностью этого транзистора является то, что он функционирует при комнатной температуре, а, как известно, быстродействие и размеры компьютерных микросхем ограничены тем, сколько теплоты они выделяют.

Еще одной областью, в которой старые методы уступают место нанотехнологиям, является создание накопителей информации. Одним из подходов является создание схем одноэлектронной памяти, где два-три электрона хранят один бит информации, а в современной микроэлектронной памяти для хранения одного бита информации задействовано около 10.000 электронов. Эффект хранения информации в ячейке памяти создается за счет нескольких туннельных переходов, которые определенным образом коммутированы с конденсатором хранения информации. Активными элементами выступают органические молекулы, расположенные в перекрестиях двойной ортогональной сетки перекрещивающихся печатных проводников. Другая идея нанопамати подсказана принципом считывания обычного патефона, в котором игла считывает аналоговую информацию. В цифровом варианте единице и нулю соответствуют ямки, выдавленные в полимерном носителе. Ширина каждой ямки – около 40 нм, а глубина – не более 25 нм. Запись осуществляется с помощью щупа высоко допированного кремниевого кантилевера путем локального разогрева – щуп выдавливает ямки в полимере. Считывание осуществляется с помощью того же щупа. Нагрев меняет электрическое сопротивление, что фиксируется и преобразуется в цифровой сигнал. Таким образом, в один квадратный сантиметр можно вместить порядка 500 Гбит информации.

Мы видим, что переход к нанoeлектронике в определенной степени базируется на достижениях микроэлектроники – использование уменьшающихся до атомарных размеров транзисторов и диодов и собранных из них схем.

### **Формирование наноструктурных материалов**

Существует группа материалов с естественным наноструктурированием, что делает их привлекательными для использования в нанoeлектронных и оптоэлектронных приборах. Среди таких материалов – пористый кремний, пористый оксид алюминия и углеродные нанотрубки.

#### **3.1. Пористый кремний**

Различные системы кремниевых наноструктур, состоящих из квантовых шнуров и квантовых точек, образуются в пористом кремнии, получаемом локальным анодным электрохимическим растворением монокристаллического кремния в электролитах на основе плавиковой кислоты (HF). Пористый кремний обладает уникальными физическими и химическими свойствами, которые определяются плотной сетью наноразмерных пор в кристаллической матрице и развитой внутренней поверхностью этих пор. Кремний является одним из немногих материалов полупроводниковой электроники, в котором возможно формирование наноразмерных пор.

### 3.2. Пористый оксид алюминия и структуры на его основе

Пористый анодный оксид алюминия обладает уникальной «собственной» структурой, позволяющей изготавливать столбиковые, нитевидные, точечные, конусообразные и другие элементы с нанометровыми размерами, которые невозможно получить и воспроизвести известными методами микрообработки, в частности, литографии. Анализ теоретических и экспериментальных результатов [1-7] позволяет определить последовательность процессов при формировании самоупорядоченной структуры пористого оксида алюминия:

- образование беспористой пленки оксида алюминия барьерного типа;
- зарождение пор хаотично распределенных по поверхности;
- развитие пор и ячеек на границе раздела оксид-металл в барьерном слое;
- формирование регулярных ячеек и пор цилиндрической формы с постоянным диаметром за счет подложки в глубину;
- формирование гексагонально-упорядоченных ячеек пористого оксида.

Также перспективными являются углеродные нанотрубки как прообраз одноэлектронного транзистора и различные модификации графена.

#### Заключение

В области наноматериалов удивительным образом переплетены как глубоко фундаментальные научные основы, так и прорывные аспекты практического использования человеческих знаний. Открытие новых наноматериалов позволит выявить и совершенно новые свойства, которые уж точно не будут лишними в нанoeлектронике. Развитие нанотехнологий внесет большой вклад в формирование основных направлений успешного развития Российской Федерации в ближайшем и более отдаленном будущем.

#### Литература

1. Роко М. К. Нанотехнология в ближайшем десятилетии. – М.: Мир, 2002
2. Нанoeлектроника <http://nanodigest.ru/stati/issledovaniia-i-razrabotki/nanoelektronika-dostizheniia-i-perspektivy>
3. <http://shachi.cochem2.tutkie.tut.ac.jp/Fuller/Fuller.html>.
4. Борисенко В.Е., Воробьева А.И. Нанoeлектроника: теория и практика. –М.: БИНОМ, 2013
5. [http://otherreferats.allbest.ru/chemistry/00037082\\_0.html](http://otherreferats.allbest.ru/chemistry/00037082_0.html)
6. Внукова Н.Г., Чурилов Г.Н. НАНОМАТЕРИАЛЫ И НАНОТЕХНОЛОГИИ Учебное пособие. - Красноярск: СФУ, 2007
7. Графеновые ленты - перспективный полупроводник <http://nanodigest.ru/content/view/7/1/>

**Косушкин Виктор Григорьевич** – д-р техн. наук, заведующий кафедрой "Материаловедение" КФ МГТУ им. Н.Э. Баумана. E-mail: [kosushkin@gmail.com](mailto:kosushkin@gmail.com).



УДК 621.3.049.77

Е.В. Белоусова, В.Г. Косушкин

## **ОСНОВНЫЕ НАПРАВЛЕНИЯ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ НАНОИНЖЕНЕРИИ В ЭЛЕКТРОНИКЕ**

КФ МГТУ им. Н.Э. Баумана, Калуга, 248000, Россия

### **Введение**

Физика низкоразмерных структур - актуальнейшая и наиболее динамично развивающаяся область современной физики твердого тела. Развитие этой области открыло возможности конструирования средствами зонной инженерии и инженерии волновых функций и последующего изготовления с помощью современных высоких технологий наноструктур (сверхрешетки, квантовые ямы, точки и нити, квантовые контакты, атомные кластеры и т.д.) с электронным спектром и свойствами, требуемыми для обнаружения и изучения новых физических явлений или для соответствующих приложений. По многим прогнозам именно развитие нанотехнологий определит облик XXI века, подобно тому, как открытие атомной энергии, изобретение лазера и транзистора определили облик XX столетия.

Целью работы является анализ и определение тенденций развития основных направлений наноинженерных подходов в переходный период от микро – к наноэлектронике.

### **Полупроводниковые наноструктуры**

Используя методы "зонной инженерии" и "инженерии волновых функций" можно конструировать квантоворазмерные структуры с заданным электронным спектром и требуемыми оптическими, электрическими и другими свойствами. Поэтому они очень удобны для приборных применений.

### **Квантовые ямы. Применение квантовых наноструктур в электронике.**

**Квантовая яма** — это потенциальная яма, которая ограничивает подвижность частиц с трех до двух измерений, тем самым заставляя их двигаться в плоском слое. Первоначально основные исследования квантовых ям проводились на инверсионных каналах кремниевых МОП транзисторов, позднее и до настоящего времени широко исследуются свойства квантовых ям в гетероструктурах. Существуют два основных прибора современной квантовой электроники: резонансный туннельный диод и лазеры на квантовых ямах.

Резонансный туннельный диод состоит из двух барьеров, разделенных областью с малой потенциальной энергией. Характерная ширина барьеров и расстояние между ними составляют несколько нанометров. В приборе используется следующая особенность двойного барьера: его туннельная

прозрачность имеет ярко выраженный резонансный характер. В том случае, когда энергия электронов, налетающих на барьеры, равна энергии дискретного уровня, туннельная прозрачность резко возрастает. При резонансе из-за интерференции волн во внутренней области гасится волна, отражающаяся от двойного барьера. Следовательно, волна, упавшая слева, полностью проходит направо.

Принцип работы резонансного туннельного диода состоит в следующем:

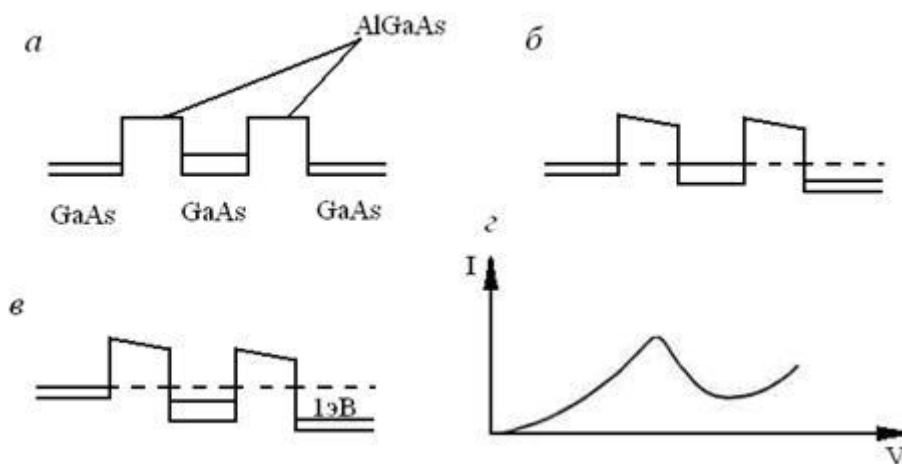


Рис. 1. Схема работы и резонансного туннельного диода: *a* – разность потенциалов равна нулю; *б* – на прибор подано резонансное напряжение, при котором ток максимальный; *в* – напряжение больше резонансного; *г* – вольт-амперная характеристика. Пунктиром показан энергетический уровень в области между двумя барьерами, сплошной линией – уровни электронов в области контактов.

Ток, протекающий через двойной барьер, зависит от величины приложенного напряжения. Потенциал в приборе падает главным образом в области двойного барьера. Ток достигает максимального значения при таких напряжениях, когда энергия электронов равна энергии дискретного уровня. При более высоких напряжениях энергия налетающих электронов станет больше энергии дискретного уровня и туннельная прозрачность барьера уменьшится. Благодаря этому в электронных схемах резонансный диод может использоваться не только как выпрямитель, но и выполнять самые разнообразные функции. Если к центральной области резонансного диода подвести контакт, через который можно управлять положением дискретного уровня, получится новый прибор - транзистор. Резонансный туннельный диод - это первое реальное устройство с квантовой ямой и барьерами. Он был создан Лео Эсаки и Чангом в 1974 году. Идею прибора предложил Л. Иогансен еще в 1963 году.[1]

## Лазеры на квантовых ямах.

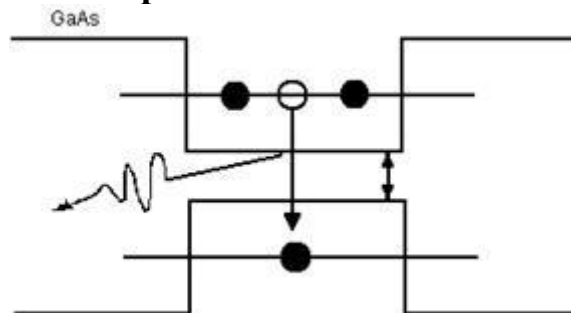


Рис. 2. Принципиальная схема лазера на квантовых ямах

Для работы любого лазера необходимо создать инверсную населенность энергетических уровней. Для того чтобы квантовую яму превратить в лазер, нужно ее подсоединить к двум контактам, через которые электроны могут непрерывно поступать в рабочую область. Далее, совершая скачки из зоны проводимости в валентную зону, они будут излучать кванты. Затем через валентную зону носители тока должны уходить на другой контакт. Лазеры на квантовых ямах обладают преимуществами по сравнению с обычными полупроводниковыми лазерами. Эти приборы можно перестраивать, управляя параметрами энергетического спектра[2].

### **Квантовые проволоки, нити. Изготовление квантовых нитей**

*Квантовые проволоки* - это системы, в которых движение носителей заряда квантовано в двух направлениях. Первые квантовые проволоки выполнялись на основе квантовых ям посредством создания потенциального рельефа с помощью двух затворов, расположенных над квантовой ямой. Основные физические явления в квантовых проволоках: квантование проводимости, сильно коррелированный электронный транспорт.

Квантовые точки - нанобъекты, в которых движение носителей заряда квантовано во всех трех направлениях. Основные физические явления в квантовых точках: одноэлектронные и однофотонные явления. Размеры квантовых точек порядка нескольких нанометров. Кроме простого нанесения рисунка на поверхность полупроводника и травления для создания квантовых точек можно использовать естественное свойство материала образовывать маленькие островки в процессе роста. Такие островки могут, например, самопроизвольно образоваться на поверхности растущего кристаллического слоя. Формирование таких структур подтверждает справедливость одного из основных принципов нанотехнологического подхода — управляемого процесса самоорганизации.[4]

### **Исследование полупроводниковых сверхрешеток и их применение**

Сверхрешеткой называется периодическая структура, состоящая из тонких чередующихся в одном направлении слоев полупроводников. Такая структура обладает, помимо периодического потенциала кристаллической

решетки, дополнительным потенциалом, обусловленным чередующимися слоями полупроводников. В работах по исследованию полупроводниковых сверхрешеток значительное место занимают вопросы, связанные с изучением профиля сверхрешеточной структуры и совершенства границ гетеропереходов. Идея создания полупроводниковой сверхрешетки возникла в результате поиска новых приборов с отрицательным дифференциальным электросопротивлением. Впервые отрицательное электросопротивление было обнаружено в сверхрешетке GaAs – GaAlAs. Большую группу применения составляют оптоэлектронные приборы - фотоприемники, светоизлучающие приборы (инжекционные лазеры и светодиоды), пассивные оптические элементы, волноводы, модуляторы, направленные ответвители и др.

Инжекционные лазеры на гетеропереходах имеют преимущества перед обычными полупроводниковыми лазерами, поскольку инжектированные носители в лазерах на гетеропереходах сосредотачиваются в узкой области. Большую группу приборов на полупроводниковых сверхрешетках составляют устройства с отрицательным дифференциальным электросопротивлением. На основе полупроводниковых сверхрешеток изготавливают также различные транзисторы. Достаточно большая частота квантовых осцилляций электронов в сверхрешетках значительно расширяет возможности изготовленных на их основе приборов СВЧ. [5]

### **Двумерные многослойные структуры из пленок нанометровой толщины**

В этом случае рассматриваются такие комбинации материалов, обеспечивающие наиболее сильное отражение электромагнитных волн. Структуры представляют собой искусственные одномерные кристаллы из пленок нанометровой толщины, и кроме возможности их использования для управления излучением в зависимости от материалов слоев (диэлектрик, полупроводник, металл, сверхпроводник), они могут быть интересны и для других физических приложений. В наиболее коротковолновой части диапазона 0,01-0,02 нм рентгеновские зеркала позволяют фокусировать излучение синхротронов или рентгеновских трубок на исследуемые объекты или формировать параллельные пучки. Приблизительно в этом же диапазоне лежит излучение высокотемпературной плазмы. В диапазоне 0,6-6 нм лежит характеристическое излучение легких элементов от бора до фосфора. В области 10-60 нм лежат линии излучения солнечной плазмы. Особое место занимает применение многослойных зеркал в технологиях микроэлектроники: это переход на длину волны более чем в 10 раз короче (от 157 нм к 13 нм) в литографии — процессе, обеспечивающем получение рисунка полупроводниковых приборов и интегральных схем. Именно длина волны излучения, используемого для получения рисунка, отвечает за размеры его минимальных элементов. До сих пор изменение длины волны излучения от поколения к поколению литографических установок не пре-

вышло 25 %. Одновременно в 10 раз повышаются требования к точности изготовления всех элементов оптики и механизмам настройки и экспонирования. Фактически это означает переход всех обрабатываемых технологий на атомарную точность [3].

### **Заключение.**

Развитие науки о наноструктурах и, прежде всего, о квантовых наноструктурах (нанофизики) и нанотехнологий создаёт возможность получения наноматериалов с качественно новыми свойствами. Развитие нанoeлектроники и наномеханики послужит основой качественно нового этапа в разработке новейших информационных технологий, средств связи, в решении проблем качественно нового уровня жизни и пр. Успех в развитии этих направлений определится, по сути, решением двух основных проблем: разработка надежных способов создания наноматериалов и нанобъектов с требуемыми свойствами, включая использование методов поэтапной сборки и эффектов самоорганизации; разработка новых и развитие существующих методов нанодиагностики с атомным разрешением. Современный прогресс в области нанотехнологий позволяет надеяться, что уже в недалеком будущем многие проблемы будут решены.

### **Список литературы.**

1. Ландау, Л.Д. Квантовая механика / Л.Д. Ландау, Е.М. Лифшиц. – М.: Физматгиз, 1963. – 556 с.
2. Херман М. Полупроводниковые сверхрешетки.- М.: Мир, 1989.- 240 с.
3. <http://www.microsystems.ru/files/publ/601.htm>
4. [https://ru.wikipedia.org/wiki/квантовая\\_яма](https://ru.wikipedia.org/wiki/квантовая_яма)
5. Бастар Г. Расчет зонной структуры сверхрешеток методом огибающей функции.- В кн: Молекулярно-лучевая эпитаксия и гетероструктуры / Под ред. Л. Ченга, К. Плога.- М.: Мир, 1989.- С. 312 –347.

**Косушкин Виктор Григорьевич** – д-р техн. наук, заведующий кафедрой "Материаловедение" КФ МГТУ им. Н.Э. Баумана. E-mail: [kosushkin@gmail.com](mailto:kosushkin@gmail.com).

## **СЕКЦИЯ 12.**

### **ЗАЩИТА ИНФОРМАЦИИ**

## **АНАЛИЗ МЕТОДОВ ПРОТИВОДЕЙСТВИЯ УГРОЗАМ И АТАКАМ НА ВЫЧИСЛИТЕЛЬНЫЕ СИСТЕМЫ**

КФ МГТУ им. Н.Э. Баумана, Калуга, 248000, Россия

*На сегодняшний день многие специалисты в области информационной безопасности уделяют свое внимание проблеме противодействия компьютерным угрозам и атакам на информационно-вычислительные системы. В данной статье проводится сравнительный анализ методов обнаружения компьютерных атак, а именно методов обнаружения аномальных отклонений и методов анализа сигнатур. К методам обнаружения аномалий относят статистический анализ, кластерный анализ, нейронные сети, иммунные сети, экспертные системы и поведенческую биометрию. К методам анализа сигнатур относят анализ систем состояний, графы сценариев атак, нейронные сети, иммунные сети, сигнатурные методы и методы, основанные на спецификациях. Кроме того в данной статье рассматривается необходимость разработки методов прогнозирования компьютерных атак, как средств предупреждения появления возможных компьютерных атак, что позволит выработать план мероприятий по предотвращению вредоносных действий злоумышленника и не допустить осуществления потенциальной атаки.*

**Ключевые слова:** *противодействие компьютерным атакам, методы обнаружения аномалий, методы анализа сигнатур.*

На сегодняшний день многие специалисты в области информационной безопасности уделяют свое внимание проблеме противодействия компьютерным угрозам и атакам на информационно-вычислительные системы [1-5,], т.е. целенаправленное несанкционированное воздействие на информацию, на ресурс автоматизированной информационной системы или получение несанкционированного доступа к ним с применением программных или программно-аппаратных средств [6].

Согласно ГОСТ Р 53622-2009 информационно-вычислительная система – совокупность данных (баз данных) и программ, функционирующих на вычислительных средствах как единое целое для решения определенных задач, где под вычислительными средствами понимаются технические средства, непосредственно осуществляющие обработку данных [7].

Так как в современном мире информация является наиболее ценным продуктом, приобретающим с каждым днём всё большую значимость, то и

вопрос о средствах обеспечения своевременной и надежной защиты информации, в частности от компьютерных атак, становится всё более актуальным.

Анализ публикаций [1,4,8] в рассматриваемой области исследования показал, что существует большое количество методов противодействия компьютерным атакам, которые условно можно разделить на два класса: методы обнаружения существующих компьютерных атак и методы прогнозирования возникновения потенциальных компьютерных атак.

Методы, направленные на обнаружение существующих компьютерных атак, также подразделяются на два вида: методы обнаружения аномалий (или аномальных отклонений) и методы анализа сигнатур (методы обнаружения злоупотреблений).

### **Методы обнаружения аномалий**

Данные методы основываются на выявлении отклонений от нормального поведения системы и позволяют выявить неизвестные ранее компьютерные атаки.

К данной группе методов относятся:

1. Статистический анализ. В течение некоторого заданного промежутка времени для рассматриваемой вычислительной системы формируется набор статистических характеристик, описывающих нормальное поведение данной системы. В случае если поведение системы отклоняется от имеющихся характеристик, её поведение считается аномальным и рассматривается, как атака.

2. Кластерный анализ. Методы данной группы основываются на разбиении множества наблюдаемых векторов-свойств системы на кластеры. А затем среди полученных кластеров выбирают те, которые описывают нормальное поведение исследуемой системы.

3. Нейронные сети. При использовании данного метода обнаружения компьютерных атак в течение некоторого периода времени происходит обучение нейронной сети, когда поведение информационно-вычислительной системы считается нормальным. После процесса обучения происходит запуск нейронной сети в режиме распознавания. Наличие атаки определяется отклонением в распознавании нормального поведения во входном потоке.

4. Иммунные сети. Иммунные сети представляют собой искусственный аналог иммунной системы человека. Аналогично с нейронной сетью иммунную сеть можно использовать для распознавания образов. В процессе применения данного метода формируются антитела, которые сопоставляют свойства атак с характеристиками, заложенными в них, и распознают данное событие как атакующее воздействие. При этом у иммунной сети существует способность получать на основании существующих новые антитела, которые в дальнейшем используются для распознавания новых атак или новых разновидностей существующих атак.

5. Экспертные системы. В экспертных системах информация о нормальном поведении хранится в виде правил, а наблюдаемое поведение представляется в виде фактов. На основании этих фактов и правил прини-



мается решение о соответствии наблюдаемого поведения «нормальному», либо о наличии аномалии.

6. Поведенческая биометрия. Данная категория включает в себя те методы, которые не требуют специального оборудования (например, сканеров сетчатки глаза или отпечатков пальцев), т.е. методы обнаружения атак, которые основаны на наблюдениях клавиатурного почерка и использования мыши. В основе методов лежит гипотеза о различии «почерка» работы с интерфейсами ввода-вывода для различных пользователей. На базе построенного профиля нормального поведения для данного пользователя обнаруживаются отклонения от этого профиля, вызванные попытками других лиц работать с клавиатурой или другими физическими устройствами ввода.

#### **Методы анализа сигнатур**

Методы второго вида используются для распознавания известных компьютерных атак. Основой данных методов является сравнение поведения вычислительной системы с описанием известной атаки. Если оно совпадает, то поведение объекта считается атакой.

К данной категории методов относятся:

1. Анализ систем состояний. Данный метод предполагает описание процесса функционирования исследуемой системы как ориентированный граф, вершинами которого являются состояния системы, а ребрами – переходы между ними. Как правило, такой граф имеет бесконечное множество вершин. Некоторые из путей в рассматриваемом графе помечаются как недопустимые. В этом случае конечное состояние каждого из таких путей представляет собой потенциальную угрозу для защищаемой системы. Обнаружение подобного рода недопустимых путей и конечных состояний, к которым приводят данные пути, означает успешное обнаружение атаки.

2. Графы сценариев атак. Граф атак – это граф, представляющий множество действий злоумышленника для достижения цели злоумышленника, путем эксплуатации уязвимостей информационной системы. Последовательность таких действий называется трассой атаки. Для построения графа атак необходимо формализовать понятие атаки, разработать формальный язык представления атак и ИС в целом. После этого встает задача построить и проанализировать граф атак. Т.к. граф представляет собой все множество действий злоумышленника по эксплуатации уязвимостей, то немаловажным является вопрос полноты построенного графа. Для задачи обнаружения атак необходимо отслеживать процессы эксплуатации уязвимостей ИС и при наличии последовательности наблюдаемых в ИС действий в графе атак сигнализировать об атаке.

3. Нейронные сети. Нейронные сети могут быть использованы для обнаружения атак в вычислительных системах, если данную задачу рассматривать с точки зрения распознавания образов. В этом случае исследуемая система, ее функционирование и внешние объекты, взаимодействующие с ней, могут быть представлены как траектории в некотором числовом пространстве признаков. Если нейронные сети используются как метод анали-

за сигнатур, то сначала происходит обучение данной нейронной сети на примерах существующих атак на защищаемую систему, а затем осуществляется сравнение и выявление принадлежности наблюдаемого поведения к одному из классов изученных атак.

4. Иммунные сети. Анализ сигнатур может быть рассмотрен как один из возможных способов использования иммунных систем, как и в случае с нейросетями.

5. Методы, основанные на спецификациях. Для функционирования данного метода необходимо сформировать множество всех возможных атакующих воздействий в виде спецификаций атак. Спецификации могут содержать как описание атакующих воздействий на информационную систему, так и возможных нарушений политики безопасности и нехарактерных для данной системы событий. Совпадение текущего события вычислительной системы со спецификацией должно расцениваться как атака. Для метода сложно сформировать набор спецификаций, обладающий свойством полноты, а также проводить расширение набора спецификаций.

6. Сигнатурные методы. Для данного метода необходимо формирование некоторого алфавита для описания наблюдаемых событий ИС и построение множества правил – сигнатур с использованием сформированного алфавита. Правила обычно представляют собой регулярные выражения. Совпадения характеристик события ИС с одной из сигнатур свидетельствует о наличии атаки. Алфавит обычно включает характеристики событий на низком уровне абстракции, например, о пакетах, передаваемых по сети или о событиях операционной системы.

Подробный сравнительный анализ рассмотренных выше методов обнаружения компьютерных атак проводят в своих работах Гамаюнов Д.Ю. [8] и Никишова А.В. [4]. В качестве критериев для сравнения они предъявляют методам следующие требования: верифицируемость, адаптивность, устойчивость и вычислительная сложность.

Среди основных результатов проведенных исследований можно выделить следующие:

- недостатками методов обнаружения аномальных отклонений являются слабая верифицируемость и слабая устойчивость;
- достоинство методов обнаружения аномалий – их адаптивность и способность обнаруживать ранее неизвестные атаки;
- достоинство методов анализа сигнатур – устойчивость, верифицируемость, низкая вычислительную сложность;
- ни один из рассмотренных методов не обладает одновременно адаптивностью, устойчивостью и верифицируемостью, имея при этом приемлемую вычислительную сложность.

Однако перечисленные методы, которые условно были отнесены к классу методов обнаружения и анализа компьютерных атак, имеют дело лишь с уже существующими на момент исследования атаками на информационно-вычислительные системы. Прогнозирование же позволяет пре-

дупредить появление возможных компьютерных атак, что позволит выработать план мероприятий по предотвращению вредоносных действий злоумышленника и не допустить осуществления потенциальной атаки.

Интерес к данному направлению в сфере обеспечения информационной безопасности вычислительных систем растёт, о чём свидетельствует ряд научных публикаций [9, 10]. Но основной проблемой остаётся недостаточность математического описания методов и моделей прогнозирования атак на информационно-вычислительные системы.

На сегодняшний день объем научных публикаций отечественных и зарубежных исследователей так или иначе касающийся темы защиты информации посредством прогнозирования атак на вычислительные системы чрезвычайно широк и свидетельствует об увеличении научного интереса к данной проблеме. Однако, несмотря на очевидную актуальность, достаточного математического описания в этой области пока еще недостаточно, так как лишь в последние двадцать лет в отечественной науке появились эмпирические исследования и попытки теоретического осмысления средств защиты срабатывающих на опережение.

### Список литературы

1. Климов С.М., Сычев М.П., Астрахов А.В. «Противодействие компьютерным атакам. Методические основы»
2. Гуров Д.В. «Методы и средства противодействия атакам на компьютерные системы, основанным на использовании уязвимостей программного кода»: автореф. дис. ... на канд. тех. наук. Национальный исследовательский ядерный университет «МИФИ», Москва, 2012.
3. Свечников Л.А. «Интеллектуальная система обнаружения атак на основе имитационного моделирования с использованием нечетких когнитивных карт»: автореф. дис. ... на канд. тех. наук. Уфимский государственный авиационный технический университет, Уфа, 2010.
4. Никишова А.В. «Многоагентная система обнаружения атак на информационную систему предприятия»: дис. ... на канд. тех. наук. Волгоградский гос. университет, Волгоград, 2013.
5. Абрамов Е.С. «Разработка и исследование методов построения систем обнаружения атак»: автореф. дис. ... на канд. тех. наук. Таганрогский государственный радиотехнический университет, Таганрог, 2005.
6. ГОСТ Р 51275-2006 Защита информации. Объект информатизации. Факторы, воздействующие на информацию. Общие положения.
7. ГОСТ Р 53622-2009 Информационные технологии. Информационно-вычислительные системы. Стадии и этапы жизненного цикла, виды и комплектность документов.
8. Гамаюнов Д.Ю. «Обнаружение компьютерных атак на основе анализа поведения сетевых объектов»: дис. ... на канд. ф.-м. наук. Московский государственный университет им. М.В. Ломоносова, Москва, 2007.

9. June Wei «Forecasting on information systems attack sources», University of West Florida.

10. Alexander D. Korzyk “A forecasting model for internet security attacks», Virginia Commonwealth University.

**Мазин Анатолий Викторович** – д-р техн. наук, заведующий кафедрой "Информационная безопасность автоматизированных систем" КФ МГТУ им. Н.Э. Баумана. E-mail: mazinav@yandex.ru.

**Клочко Ольга Сергеевна** – ассистент кафедры «Информационная безопасность автоматизированных систем» КФ МГТУ им. Н.Э. Баумана. E-mail: klochkoolgakaluga@gmail.com.

A.V.Mazin, O.S. Klochko

## **ANALYSIS OF THE COMPUTER ATTACKS OPPOSITION METHODS**

Bauman Moscow State Technical University, Kaluga Branch, Kaluga, 248000, Russia

*Abstract: at this moment many specialists in the area of information safety focus their attention on the problem of computer attacks to the computer systems. This article contains the comparative analysis of the existed computer attacks opposition methods, namely, the anomaly-based intrusion detection methods and the signature analysis methods. The anomaly-based intrusion detection methods contain statistical analysis, cluster analysis, neural network, immune network, expert systems and behavioral biometrics. The signature analysis methods contain analysis of state systems, graphs of attacks scripts, neural network, immune network, signature method and methods based on specifications. Besides the necessity of the computer attacks forecasting methods development is considered.*

**Key words:** *opposition of the computer attacks, Anomaly-based intrusion detection methods, signature analysis methods.*

**Mazin A.V.**, Dr. Sci. (Eng.), the Head of Department "Information safety of automated systems" of Kaluga Branch of Bauman Moscow State Technical University. E-mail: mazinav@yandex.ru.

**Klochko O.S.**, assistant lecturer of the Department "Information safety of automated systems" of Kaluga Branch of Bauman Moscow State Technical University. E-mail: klochkoolgakaluga@gmail.com.

## **ИСПОЛЬЗОВАНИЕ ПАКЕТОВ ПРИКЛАДНЫХ ПРОГРАММ ДЛЯ АНАЛИЗА СТАТИСТИЧЕСКИХ ДАННЫХ ПРИ ПРОГНОЗИРОВАНИИ КОМПЬЮТЕРНЫХ АТАК НА ВЫЧИСЛИТЕЛЬНЫЕ СИСТЕМЫ**

КФ МГТУ им. Н.Э. Баумана, Калуга, 248000, Россия

*В данной статье были рассмотрены наиболее популярные на сегодняшний день пакеты прикладных программ для анализа статистических данных, такие как AutoVox, Statistica и OpenForecast, которые могут быть использованы для прогнозирования компьютерных атак на вычислительные системы. Кроме того авторами в данной статье были приведены преимущества и недостатки приведенных пакетов прикладных программ для анализа статистических данных в сфере информационной безопасности. В данной статье был проведен сравнительный анализ статистических прикладных пакетов на наличие наиболее значимых методов и моделей, предназначенных для прогнозирования компьютерных атак на вычислительные системы. Данный анализ проводился на примере нелинейных регрессионных моделей, динамических регрессий, моделей Брауна, нейросетевых моделей, моделей Винтера, моделей с адаптивной реакцией.*

**Ключевые слова:** информационная безопасность, компьютерные атаки, статистика.

Одним из основных этапов при прогнозировании компьютерных атак на вычислительные системы является анализ статистических данных. При осуществлении прогнозирования необходимо выполнять контроль над выполнением части операций. Для этих целей существует множество специализированных программных средств, помогающих автоматизировать данный этап исследования. Пакеты прикладных программ для анализа статистических данных, представленные на сегодняшний день на рынке, можно разделить на две категории – популярные пакеты, ориентированные на пользователей, не имеющих достаточных знаний и навыков для профессиональной работы в области статистического анализа (например, MS Excel, MathCad и др.), и специализированные пакеты. Статистические программные продукты данного вида позволяют использовать современные методы математической статистики для обработки данных, и ориентиро-

ваны на узкую область анализа данных. К таким пакетам можно отнести STATISTICA, AUTOBOX.

Профессиональные пакеты содержат в себе большое число методов анализа, популярные пакеты - количество функций, которых достаточно для универсального применения. В то время как специализированные пакеты ориентированы на какую-либо узкую область анализа данных. Создатели программных статистических пакетов утверждают, что их продукт превосходит современные аналоги. В связи с отсутствием у большинства исследователей времени для освоения нескольких программ, выбор одной программы становится очень непростым. В данной статье приведена основная информация о присутствующих на рынке основных программных пакетах, пригодных для статистической обработки данных о компьютерных атаках.

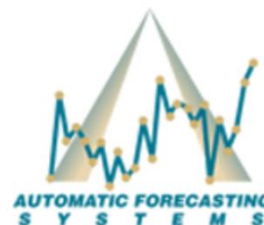
### 1. AUTOBOX 6.0

Программа Autobox 6.0 представляет собой средство для прогнозирования временных рядов, выпущенное в 1976 году компанией Automated Forecasting Systems. Согласно представленной на сайте компании [3] информации программа Autobox 6.0 выбрана в качестве «Лучшей специализированной в области прогнозирования» программы. На последнем проведенном конкурсе прогнозирования “NN5” в 2008 году в категории «Ежедневные данные» она заняла 1-ое место среди автоматизированных средств. В разделе сайта, посвященном описанию свойств программного продукта, отмечается, что особенностью Autobox 6.0, помимо высокого качества результатов, является простота использования (“Autobox is simply the easiest way to forecast”), так как все необходимые предварительные настройки для вычислений способны производиться автоматически. Главными преимуществами исследуемого метода прогнозирования также являются высокое качество прогнозов и способность автоматически обнаруживать скрытые зависимости и закономерности в последовательности входных данных.



### 2. OpenForecast

OpenForecast представляет собой пакет методов прогнозирования общего назначения, разработанный «Steven R. Gould». Данный программный продукт написан на Java и может быть применен к любому набору данных.



### 3. STATISTICA 6.0

STATISTICA представляет собой интегрированную систему анализа и управления данными, предоставляющую мощные и удобные в использовании инструменты для статистического и графического анализа, прогнозирования, data mining, создания собственных пользовательских приложений, интеграции, совместной работы, web-доступа и др.

Процедуры системы STATISTICA имеют высокую скорость и точность вычислений.

Благодаря гибкой и мощной технологии доступа к данным увеличивается эффективность работы как с таблицами данных на локальном диске, так и с удаленными хранилищами данных.

STATISTICA объединяет в себе следующие общепризнанные достоинства:

- содержит полный набор классических методов анализа данных: от основных методов статистики до продвинутых методов, что позволяет гибко организовать анализ;

- служит средством построения приложений в конкретных областях;

- благодаря наличию специально подобранных примеров, входящих в комплект поставки, система позволяет систематически осваивать методы анализа;

- делает анализ высокоинтерактивным и удобным благодаря тому, что отвечает всем стандартам Windows;

- поддерживает интеграцию в Интернет;

- поддерживает различные web-форматы;

- легка в освоении, и, как показывает опыт, пользователи из всех областей применения быстро осваивают систему;

- данные системы STATISTICA легко конвертировать в различные базы данных и электронные таблицы благодаря встроенным средствам;

- поддерживает высококачественную графику, позволяющую эффективно визуализировать данные и проводить графический анализ;

- является открытой системой: содержит языки программирования, которые позволяют расширять систему, запускать ее из других Windows-приложений, например, из Excel.

Пакеты прикладных программ для составления прогноза относятся к наукоемкому программному обеспечению, обладающему широким спектром различных методов статистического анализа данных. Как было рассмотрено в [2] на сегодняшний день особенно популярными являются регрессионные, нейросетевые методы и методы экспоненциального сглаживания. И наличие поддержки данных методов является очень важным критерием при выборе пакета прикладных программ для осуществления прогнозирования компьютерных атак.

Проанализируем вышеперечисленные программные продукты на поддержку данных техник анализа статистических данных.

Таблица №1

Наличие методов прогнозирования в существующих прикладных пакетах

	Регрессионные методы	Нейросетевые методы	Методы экспоненциального сглаживания
AUTOBOX	Нелинейные регрессионные модели, динамическая регрессия		Простая модель (Браун), Модель Брауна с двумя параметрами, Модель Брауна с тремя параметрами
OpenForecast	Нелинейные регрессионные модели		
STATISTICA	Нелинейные регрессионные модели, динамическая регрессия	Нейросетевая модель	Простая модель (Браун), модель Брауна с двумя параметрами, модель Брауна с тремя, модель Хольта с двумя параметрами, модель Винтера с тремя параметрами, модель с адаптивной реакцией

После сравнительного анализа данной таблицы, можно увидеть, что STATISTICA обладает наиболее широким спектром методов статистического анализа и, следовательно, позволяет повысить точность прогнозирования компьютерных атак, используя различные методы прогнозирования. А так как точность прогнозирования в сфере информационной безопасности является ключевым фактором при выборе программного обеспечения, то STATISTICA является наиболее подходящим решением.

### Список литературы

1. Чучуева И. А., Модель прогнозирования временных рядов по выборке максимального подобия, М. - 2012.
2. Сайт организации «Центр статистических технологий» Электронный ресурс. Режим доступа: <http://www.nickart.spb.ru/>, свободный.
3. Сайт организации «Automatic Forecasting Systems» Электронный ресурс. Режим доступа: <http://autobox.com/>, свободный.
4. Сайт организации «StatSoft Russia» Электронный ресурс. Режим доступа: <http://www.statsoft.ru/>, свободный.
5. Приставка П. А., Экспериментальное исследование эффективности теоретико-информационных методов прогнозирования, Новосибирск – 2011.



**Мазин Анатолий Викторович** – д-р техн. наук, заведующий кафедрой "Информационная безопасность автоматизированных систем" КФ МГТУ им. Н.Э. Баумана. E-mail: mazinav@yandex.ru.

**Клочко Ольга Сергеевна** – ассистент кафедры «Информационная безопасность автоматизированных систем» КФ МГТУ им. Н.Э. Баумана. E-mail: klochkoolgakaluga@gmail.com.

**Макаров Антон Сергеевич** – студент кафедры «Информационная безопасность автоматизированных систем» КФ МГТУ им. Н.Э. Баумана. E-mail: makarov.bas@gmail.com.

A.V.Mazin, O.S.Klochko, A.S.Makarov

## **USING OF SOFTWARE PACKAGES FOR STATISTICAL ANALYSIS OF COMPUTER ATTACKS FORECASTING IN COMPUTER SYSTEMS**

Bauman Moscow State Technical University, Kaluga Branch, Kaluga, 248000, Russia

*The popular at this moment software packages for statistical analysis that can be used to forecast computer attacks in computer systems are considered in this article. The follow software packages are described: Autobox, OpenForecast and Statistica. The advantages and the disadvantages of these software packages for analysis statistic data in the area of information safety are listed. These software packages are considered if they have more important methods and models of computer attacks forecasting. This analysis includes the nonlinear regression model, the dynamic regression model, Brown's model, the model using neural network, Winter's model, the model with the adaptive reaction.*

**Key words:** *information safety, computer attacks, statistics.*

**Mazin A.V.**, Dr. Sci. (Eng.), the Head of Department "Information safety of automated systems" of Kaluga Branch of Bauman Moscow State Technical University. E-mail: mazinav@yandex.ru.

**Klochko O.S.**, assistant lecturer of the Department "Information safety of automated systems" of Kaluga Branch of Bauman Moscow State Technical University. E-mail: klochkoolgakaluga@gmail.com.

**Makarov A.S.**, student of the Department "Information safety of automated systems" of Kaluga Branch of Bauman Moscow State Technical University. E-mail: klochkoolgakaluga@gmail.com.

С.В. Лаптев, А.В. Калугин

## **ОБЕСПЕЧЕНИЕ ИНФОРМАЦИОННОЙ БЕЗОПАСНОСТИ ПРИ ИСПОЛЬЗОВАНИИ НАВИГАЦИОННО-МОНИТОРИНГОВЫХ СИСТЕМ ГЛОНАСС/GPS В МВД РОССИИ**

*В статье даны понятия, основные определения, структура и особенности навигационно-мониторинговых систем, используемых Министерством внутренних дел Российской Федерации в настоящее время. Приведены требования, предъявляемые органами внутренних дел и внутренними войсками к навигационной аппаратуре. Рассмотрены каналы связи и передачи информации в навигационно-мониторинговой системе. В статье дана классификация навигационно-мониторинговой системы, используемой внутренними войсками МВД России с позиции информационной безопасности. Описаны меры, реализуемые системой защиты информации с учетом типов актуальных угроз информационной безопасности. Рассмотрены модели угроз безопасности информации для информационных систем внутренних войск в мирное время. Предложены различные программные и программно-аппаратные технические решения, применяемые МВД России, обеспечивающие защиту информации от несанкционированного доступа и рекомендуемые ФСТЭК России.*

**Ключевые слова:** *Защита информации, МВД России, навигационно-мониторинговые системы, ГЛОНАСС*

### **Введение**

Развитие спутниковой навигации позволило федеральным органам исполнительной власти оснастить свои транспортные средства навигационной аппаратурой потребителей (далее – НАП) ГЛОНАСС/GPS.

НАП - это аппаратура, предназначенная для измерения параметров навигационных сигналов глобальных навигационных спутниковых систем (далее – ГНСС) и выделения навигационных сообщений с целью определения пространственных координат (широта, долгота, высота), составляющих вектора скорости движения, поправки показаний часов потребителя ГНСС и скорости изменения этой поправки.

Основным преимуществом ГНСС является возможность определения местоположения объектов в любой точке пространства вне зависимости от времени суток, года и погодных условий. Радионавигационные сигналы излучаются космическими аппаратами непрерывно, что обеспечивает их доступность неограниченному количеству наземных пользователей. Эти преимущества позволяют силовым структурам (спецпотребителям), в том числе МВД России, решать различные служебно-боевые задачи.

С использованием технологии спутниковой навигации МВД России осуществляет управление силами и средствами, раскрывает преступления, обеспечивает подконтрольную перевозку спецконтингента и транспортировку особо опасных и ценных грузов, решает служебно-боевые задачи.

МВД России не применяет НАП, работающую только по сигналам GPS, т.к. они могут принудительно загрубляться или отключаться в пределах любого региона Земного шара по решению правительства США. В мирное время совместное использование двух ГНСС (ГЛОНАСС и GPS) значительно повышает точность определения местоположения объекта, т.к. в зоне видимости потребителя находится большее количество космических аппаратов.

Наибольшее распространение в деятельности сотрудников органов внутренних дел Российской Федерации (далее – ОВД) и военнослужащих внутренних войск МВД России получили навигационно-мониторинговые системы (далее – НМС), выполняющие диспетчерские функции.

НМС - это комплекс технических и аппаратно-программных средств на основе аппаратуры спутниковой навигации, обеспечивающий возможность контроля в центре мониторинга состояния и местоположения транспортных средств и позволяющий принимать решения по их управлению в соответствии с полученной информацией.

Все НМС, закупаемые в интересах МВД России, должны соответствовать обязательным требованиям, предъявляемым потребителями – органами внутренних дел и внутренними войсками (далее – ВВ). Причем требования к НМС для использования в ОВД и ВВ МВД России различаются. НМС, принятые на снабжение ОВД, должны соответствовать «Общим тактико-техническим требованиям к спутниковым навигационно-мониторинговым системам для органов внутренних дел Российской Федерации» [1], а для ВВ МВД России – «Тактико-техническим требованием к навигационно-мониторинговым системам ГЛОНАСС/GPS для легковых и грузовых автомобилей внутренних войск МВД России».

Согласно Федеральному закону от 27.06.2006 г. №149-ФЗ [2] НМС, эксплуатируемые в МВД России подпадают под определение «государственных информационных систем». Права обладателя информации, содержащейся в базах данных информационных систем подлежат охране. Поэтому информация, циркулирующая в данных системах, а также передаваемая по линиям связи должна защищаться. Под защитой информации понимается принятие правовых, организационных и технических мер, направленных на обеспечение защиты информации от неправомерного доступа, блокирование, уничтожение, иных неправомерных действий в отношении такой информации, а также соблюдение конфиденциальности информации ограниченного доступа.

Рассмотрим меры по защите информации, принимаемые внутренними войсками в мирное время.

**Обеспечение информационной безопасности НМС внутренних войск.**

Внутренние войска занимают особое место в структуре МВД России, так как в случае обострения военно-политической обстановки они будут привлекаться к осуществлению обороны совместно с Вооруженными Силами и оказывать помощь пограничным войскам ФСБ России в охране государственной границы Российской Федерации. Поэтому требования по защите информации, конструктивному исполнению и функционалу НМС для ВВ МВД России должны быть жестче.

Приказом МВД России от 14.12.2013 г. №975 [3] была принята на снабжение внутренних войск автоматизированная система мониторинга местоположения подвижных объектов - 14Ц884.

Система 14Ц884 предназначена для оперативного контроля местоположения и состояния транспортных средств с помощью навигационной аппаратуры потребителей, работающей по сигналам ГЛОНАСС/GPS.

В отличие от подобных систем для ОВД, имеющих три уровня управления, данная система имеет четырёхуровневую иерархическую систему управления и включает:

- главный диспетчерский центр главного командования внутренних войск;
- региональные диспетчерские центры (региональные командования);
- территориальные диспетчерские центры (соединения);
- локальные диспетчерские центры (войсковые части).

Состав системы 14Ц884 показан на рисунке 1.



Рис. 1.

НМС представляет собой совокупность аппаратно-программных средств управления и контроля мобильных объектов и предназначена для решения задач по накоплению, хранению и обработке информации о параметрах движения и состояниях объектов контроля, а также передаче оперативной информации и команд управления на объекты контроля для повышения эффективности их использования.

В НМС в машиночитаемом формате обрабатывается следующая информация:

- открытые данные;
- служебная информация ограниченного распространения;
- персональные данные (далее – ПДн).

НМС, как объект автоматизации, представляет собой, в общем случае, многоуровневую иерархически структурированную систему, состоящую из навигационных информационных комплектов (далее – НИК) и центров мониторинга (далее – ЦМ) различных уровней, с возможностью организации вертикальных и горизонтальных связей между ЦМ.

Все ЦМ, функционируя автономно или взаимосвязано в рамках иерархии и / или горизонтальных связей, учитывают, отображают и хранят информацию, поступающую в режиме реального времени от НИК. При этом каждый ЦМ аккумулирует информацию, поступающую только от зарегистрированных НИК. Поступающая информация анализируется встроенными алгоритмами, после чего пользователю предоставляется возможность ее обработки в интерактивном режиме:

- отображение информации, используя фильтры;
- просмотр информации, хранящейся в архиве;
- настройка ограничений для НИК;
- передача управляющих команд НИК;
- просмотр отчетов и др.

В качестве каналов передачи информации используются:

– открытые беспроводные каналы связи (сотовые сети связи стандарта GSM, УКВ);

– защищаемые проводные каналы связи (информационно-телекоммуникационная сеть (далее – ИТКС) ВВ МВД России).

При использовании открытых каналов связи элементы НМС передают исключительно незащищаемые сведения, в то время как при взаимодействии элементов системы между собой и с внешними информационными системами посредством защищаемых каналов связи могут передаваться как открытые, так и конфиденциальные данные.

Доступ к информационным ресурсам в зависимости от принадлежности клиента осуществляется:

- элементами НМС по технологии «толстого», и «тонкого» клиента;
- пользователями взаимодействующих систем – только «тонкого» клиента.

Права элементов НМС и элементов иных взаимодействующих с ней систем на доступ к информационным ресурсам задаются средствами разграничения прав доступа единого информационного пространства (далее – ЕИП) ВВ МВД России.

В соответствии с требованиями статьи 5 Федерального закона от 27 декабря 2002 года № 184-ФЗ [4] и приказа ФСТЭК от 11 февраля 2013 года № 17 [5] все применяемые в НМС средства защиты информации проходят оценку соответствия требованиям по безопасности информации (в форме обязательной сертификации).

Согласно модели угроз безопасности информации для информационных систем внутренних войск в мирное время НМС должна соответствовать 1-му классу защищенности информационных систем и обеспечивать 4-ый уровень защищенности персональных данных. В связи с этим технические средства, входящие в состав ЦМ НМС, соответствуют следующим требованиям:

- средства вычислительной техники – не ниже 5-го класса;
- системы обнаружения вторжений и средства антивирусной защиты – не ниже 4-го класса;
- межсетевые экраны – не ниже 3-го класса.

Меры, реализуемые системой защиты информации с учетом типа актуальных угроз (3-ий), уровня защищенности ПДн (4-ый), класса защищенности информационных систем (1-ый) и применяемых информационных технологий, включают:

- идентификацию и аутентификацию субъектов доступа и объектов доступа;
- управление доступом субъектов доступа к объектам доступа;
- ограничение программной среды;
- защиту машинных носителей информации;
- регистрацию событий безопасности;
- антивирусную защиту;
- обнаружение вторжений;
- контроль (анализ) защищенности информации;
- обеспечение целостности информационной системы и информации;
- обеспечение доступности информации;
- защиту среды виртуализации;
- защиту технических средств;
- защиту информационной системы, ее средств, систем связи и передачи данных;
- управление конфигурацией информационной системы и системы защиты персональных данных.

Для мобильных центров мониторинга информационная безопасность достигается применением:

- штатных средств ИТКС ВВ МВД России;
- средств антивирусной защиты – не ниже 4-го класса;

– организационных мер.

Согласно модели угроз безопасности информации НМС имеет класс защищенности автоматизированных систем (далее – АС) – 1Г. Следовательно, используемые средства защиты информации от несанкционированного доступа должны пройти обязательную сертификацию в соответствии с методиками ФСТЭК России как средства (системы) защиты информации от НСД, применяемые для защиты информации в АС, класса не ниже 1Г.

По состоянию на май 2014 года ФСТЭК России сертифицированы различные программные и программно-аппаратные технические решения, обеспечивающие защиту информации от несанкционированного доступа (далее – НСД), удовлетворяющие вышеуказанным требованиям, например:

- комплекс средств защиты информации от НСД «КСЗ НД»;
- комплекс средств защиты информации (далее – СЗИ) НСД «Аккорд»;
- СЗИ «Secret Net».

Учитывая особенности взаимодействия ЦМ, а также в целях оптимизации процесса настройки системы защиты НИЦ (использование единых стандартов безопасности для всех однотипных элементов) и повышения эффективности контроля безопасности защищаемых сведений (централизованный сбор информации о событиях безопасности), используются СЗИ от НСД, позволяющее организовать централизованное управление системой защиты от НСД.

Эффективное функционирование НМС возможно только при совместной обработке информационных баз данных, хранящихся на различных ЦМ. Следовательно, организуется доступ пользователей ЦМ к территориально удаленным информационным ресурсам (при этом информационный обмен может включать любую обрабатываемую ЦМ информацию, в т.ч. конфиденциальную). Необходимым условием организации такого взаимодействия по каналам связи общего пользования является применение средств криптографической защиты информации и шифрования конфиденциального трафика.

Согласно модели угроз используемое СКЗИ удовлетворяет требованиям уровня криптографической защиты КСЗ. Учитывая необходимость применения помимо СКЗИ средств межсетевого экранирования и средств обнаружения вторжений (СОВ) в целях экономии ресурсов используются комбинированные аппаратно-программные средства, объединяющие функционал СКЗИ, МЭ и СОВ. В НМС используется АПКШ «Континент». Для мобильных центров мониторинга применяется СКЗИ «Континент-АП» в совокупности с комбинированным программным средством, включающим в себя СОВ и МЭ «Security Studio Endpoint Protection».

Согласно требованиям нормативно-правовых актов Российской Федерации телеметрическая информация не относится к информации ограниченного распространения, однако, высокая ценность актуальной информации о местонахождении мобильных объектов ВВ МВД России в рамках выполнения решаемых ими задач предполагает применение ряда дополнительных мер по обеспечению безопасности таких данных.

В качестве такой дополнительной меры, информация, передаваемая по открытым каналам, преобразовывается посредством технического закрытия (скремблирования или специального кодирования) на основании алгоритма ГОСТ 28147-89. Единственным сертифицированным в настоящее время решением, обеспечивающим такой механизм технического закрытия, является унифицированный аппаратно-программный модуль избирательного доступа к информации для абонентских навигационных комплектов 14Ц887 (УМИД АНК ГСТА.467753.030) и диспетчерских центров 14Ц885, 14Ц886 (УМИД ДЦ ГСТА.467753.031), который функционирует в эксплуатируемой ВВ МВД России навигационно-информационной системе АСММ. Сертификаты соответствия требованиям по безопасности информации (№№ 1640 и 1641 от 18 ноября 2011 года), полученные на УМИД, удостоверяют, что он может использоваться в навигационных системах класса защищенности до 1Г включительно.

### **Заключение**

Информационная безопасность для МВД России в условиях обострения военно-политической обстановки приобретает особое значение. Для обеспечения защиты информации необходимо планомерно и постоянно проводить комплекс мероприятий (организационных, правовых, технических), который позволит предотвратить неправомерный доступ к информации и ущерб.

В настоящее время методы и способы защиты информации, используемые в навигационно-мониторинговых системах МВД России можно рассматривать как соответствующие требованиям в мирное время. Для подготовки к использованию НМС в военное время в рамках ФЦП «ГЛОНАСС-2020» будут разработаны перспективные НМС для использования ОВД и ВВ МВД России в различные периоды военно-политической обстановки.

### **Литература:**

1. Приказ МВД России от 31.12.2008 №1197 «Об утверждении и использовании общих тактико-технических требований к спутниковым навигационно-мониторинговым системам для органов внутренних дел Российской Федерации и внутренних войск МВД России».
2. Федеральный закон от 27.06.2006 г. № 149-ФЗ "Об информации, информационных технологиях и о защите информации".
3. Приказ МВД России от 14.12.2013 г. №975 «О принятии на снабжение внутренних войск МВД России специальной техники».
4. Федеральный закон от 27 декабря 2002 г. N 184-ФЗ «О техническом регулировании»
5. Методические рекомендации по применению навигационной аппаратуры ГЛОНАСС сотрудниками ОВД и военнослужащими внутренних войск МВД России. – М.: ФКУ НПО «СТиС» МВД России, 2012.

**Лаптев Сергей Владимирович** – младший научный сотрудник, Калужский филиал ФКУ НПО "СТиС" МВД России. E-mail: us@kaluga.net.

**Калугин Алексей Валерьевич** – ученый секретарь, Калужский филиал ФКУ НПО "СТиС" МВД России. E-mail: stisklg@bk.ru.



S.V. Laptev, A.V. Kalugin

## **INFORMATION SECURITY PROVIDING BY USING NAVIGATION AND MONITORING SYSTEMS GLONASS/GPS IN MIA OF RUSSIA ACTIVITY**

Bauman Moscow State Technical University, Kaluga Branch, Kaluga,  
248000, Russia

*In the article made terms, basic definitions, structure and specific for navigation and monitoring systems using in MIA of Russia activity in present time. As well classified requirements which appropriate to MIA of Russia departments and branches using concerning to navigation equipment. Considered communication channels and types of information delivery in navigation and monitoring system. In the article classified navigation and monitoring systems which are using in MIA of Russia activity with concern of information security. Defined measures performed by security information system with consideration of actual threatening to information security. Given threatening models for information security applied to informational systems of MIA departments and branches using in routing time. Proposed different decisions with software or combined software/hardware recommended by Federal Service Agency for Technical and Export Control, as well applied to MIA of Russian Federation to provide information security from not authorized access.*

**Keywords:** *Information security, MIA of Russia, navigation and monitoring systems. GLONASS*

**Laptev Sergey Vladimirovich**, wissenschaftlicher assistent, Kaluga branch of Federal Government Office for Research and Production Organization «Special Devices and Communication» of MIA Russian Federation. E-mail: us@kaluga.net.

**Kalugin Alexey Valerievich**, scientific secretary, Moscow Federal Government Office for Research and Production Organization «Special Devices and Communication» of MIA Russian Federation. E-mail: stisklg@bk.ru.

## **СРАВНИТЕЛЬНЫЕ ХАРАКТЕРИСТИКИ АНТИВИРУСНЫХ ПРОГРАММ**

КФ МГТУ им. Н.Э. Баумана, Калуга, 248000, Россия

*Рассмотрены вопросы возникновения, распространения вирусов, заражения программных средств. Описываются механизмы создания баз антивирусов. Сделан обзор современных антивирусных программ: AIDSTEST, AVP, Dr. Web, Avast, Kaspersky, ESET NOD 32, Panda Security. Рассмотрены такие характеристики, как: бесплатность антивирусных программ, удобство установки и настройки, частота обновления антивирусных баз, популярность антивирусных программ, также сказано, к каким типам программ относятся данные антивирусы, рассмотрены плюсы и минусы программ, особенности работы данных программных продуктов, типы распознаваемых вирусов. Приведена сравнительная характеристика. Выявлены достоинства и недостатки рассмотренных антивирусов. Сделан вывод о том, какая антивирусная программа наиболее выгодна для применения с целью уменьшения опасности заражения компьютера, а также сохранения его работоспособности.*

**Ключевые слова:** *Ключевые слова: вирусы, антивирусы, базы антивирусов.*

Несанкционированные действия, выполняемые вирусом, могут быть обусловлены наступлением определённой даты, или определённым количеством размножений, к примеру записью на заражённой программы винчестер. К сожалению, комбинация этих условий может быть настолько сложной, что будет непросто её определить. Инфицируя программы, вирус способен распространяться от одной программы к другой, что делает его более опасным по сравнению с другими методами компьютерного вандализма. Также надо заметить, что зараженные программы способны передаваться через дискеты, флешки и или даже по сети на другие ЭВМ. В связи с широко распространённой практикой обмена и передачи программ на дискетах среди пользователей ПЭВМ количество зараженных программ может быть значительным, приводя к своего рода эпидемиям. К сожалению, эта проблема актуальна для рядовых пользователей компьютеров, ведь они в силу своего незнания, не способны понять всю опасность такой всемирно глобальной паутины, как интернет. Быть может, это и объясняет возросшее число киберпреступлений, или даже простого «развода» людей при помощи вирусов.

**Вирусы.** Что такое вирус? Зачем они создаются? Если рассматривать формальную точку зрения, то компьютерный вирус — это программа, которая заражает другие программы путём включения в них своей, как часто бывает, модифицированной копии. Причём эта копия способна размножаться. Также вирус, как и другие программы способен выполнять весьма несанкционированные действия, от вполне безобидных до крайне разрушительных.

Как же происходит процесс заражения? Как его предотвратить? Вирусы распространяются, копируя свое тело и обеспечивая его последующее исполнение: внедряя себя в исполняемый код других программ, заменяя собой другие программы, прописываясь в автозапуск и другое. Вирусом или его носителем могут быть не только программы, содержащие машинный код, но и любая информация, содержащая автоматически исполняемые команды — например, пакетные файлы и документы Microsoft Word и Excel, содержащие макросы.

А теперь соответственно поведём речь о программах, способных обнаружить, и что немаловажно, обезвредить эти вредоносные программы. Как вы уже поняли, это программы — антивирусы. Современные антивирусные программы представляют собой многофункциональные продукты, сочетающие в себе как профилактические средства, так и средства лечения вирусов и восстановления данных.

Количество и разнообразие вирусов велико, и чтобы их быстро и эффективно обнаружить, антивирусная программа должна отвечать некоторым параметрам:

- Стабильность и надежность работы.
- Размеры вирусной базы программы (количество вирусов, которые правильно определяются программой): с учетом постоянного появления новых вирусов база данных должна регулярно обновляться.
- Возможность программы определять разнообразные типы вирусов, и умение работать с файлами различных типов (архивы, документы).
- Наличие резидентного монитора, осуществляющего проверку всех новых файлов “на лету” (то есть автоматически, по мере их записи на диск).
- Скорость работы программы, наличие дополнительных возможностей типа алгоритмов определения даже неизвестных программе вирусов (эвристическое сканирование).
- Возможность восстанавливать зараженные файлы, не стирая их с жесткого диска, а только удалив из них вирусы.
- Процент ложных срабатываний программы (ошибочное определение вируса в “чистом” файле).
- Кроссплатформенность (наличие версий программы под различные операционные системы).

Антивирусные программы можно классифицировать следующим образом:

**программы-детекторы** обеспечивают поиск и обнаружение вирусов в оперативной памяти и на внешних носителях, и при обнаружении выдают соответствующее сообщение. Различают детекторы:

1. **универсальные** - используют в своей работе проверку неизменности файлов путем подсчета и сравнения с эталоном контрольной суммы

2. **специализированные** - выполняют поиск известных вирусов по их сигнатуре (повторяющемуся участку кода). Недостаток таких детекторов состоит в том, что они неспособны обнаруживать все известные вирусы.

Недостатком таких антивирусных программ является то, что они могут находить только те вирусы, которые известны разработчикам таких программ.

• **Программы-доктора (фаги)** не только находят зараженные вирусами файлы, но и "лечат" их, т.е. удаляют из файла тело программы вируса, возвращая файлы в исходное состояние. В начале своей работы фаги ищут вирусы в оперативной памяти, уничтожая их, и только затем переходят к "лечению" файлов. Среди фагов выделяют полифаги, (программы-доктора, предназначенные для поиска и уничтожения большого количества вирусов). Так как постоянно появляются новые вирусы, программы-детекторы и программы-доктора быстро устаревают, поэтому требуется регулярное обновление их версий.

• **Программы-ревизоры** относятся к самым надежным средствам защиты от вирусов. Ревизоры запоминают исходное состояние программ, каталогов и системных областей диска тогда, когда компьютер не заражен вирусом, а затем периодически или по желанию пользователя сравнивают текущее состояние с исходным. Обнаруженные изменения выводятся на экран монитора. Как правило, сравнение состояний производят сразу после загрузки операционной системы. При сравнении проверяются длина файла, код циклического контроля (контрольная сумма файла), дата и время модификации, другие параметры.

• **Программы-фильтры (сторожа)** представляют собой небольшие резидентные программы, предназначенные для обнаружения подозрительных действий при работе компьютера, характерных для вирусов. Такими действиями могут являться:

1. попытки коррекции файлов с расширениями COM и EXE;
2. изменение атрибутов файлов;
3. прямая запись на диск по абсолютному адресу;
4. запись в загрузочные сектора диска;
5. загрузка резидентной программы.

При попытке какой-либо программы произвести указанные действия "сторож" посылает пользователю сообщение и предлагает запретить или разрешить соответствующее действие. Программы-фильтры весьма полезны, так как способны обнаружить вирус на самой ранней стадии его существования до размножения. Однако они не "лечат" файлы и диски. Для уничтожения вирусов требуется применить другие программы, например фаги. К недостаткам программ-сторожей можно отнести их "назойливость" (например, они посто-

янно выдают предупреждение о любой попытке копирования исполняемого файла), а также возможные конфликты с другим программным обеспечением.

• **Программы-вакцины (иммунизаторы)** - это резидентные программы, которые предотвращают заражение файлов. Вакцины применяют, если отсутствуют программы-доктора, "лечащие" этот вирус. Вакцинация возможна только от известных вирусов. Вакцина модифицирует программу или диск таким образом, чтобы это не отразилось на их работе, а вирус будет воспринимать их зараженными и поэтому не внедрится. Существенным недостатком таких программ является их ограниченные возможности по предотвращению заражения от большого числа разнообразных вирусов.

**Базы антивирусов.** Для того чтобы использовать антивирусы необходимы постоянные обновления так называемых баз антивирусов. Антивирусные базы представляют собой информацию о вирусах, а именно, как их найти и обезвредить. Так как вирусы в настоящее время пишут часто, то необходим постоянный мониторинг активности вирусов в сети. Для этого существуют специальные сети, которые собирают соответствующую информацию. После сбора этой информации производится анализ вредоносности вируса, анализируется его код, поведение, и после этого устанавливаются способы борьбы с ним. Чаще всего вирусы запускаются вместе с операционной системой. В таком случае можно просто удалить строки запуска вируса из реестра, и на этом в простом случае процесс может закончиться. Более сложные вирусы используют возможность заражения файлов. Например, известны случаи, как антивирусные программы, будучи зараженными, сами становились причиной заражения других чистых программ и файлов. Поэтому более современные антивирусы имеют возможность защиты своих файлов от изменения и проверяют их на целостность по специальному алгоритму. Таким образом, вирусы усложнились, как и усложнились способы борьбы с ними. Сейчас можно увидеть вирусы, которые занимают уже не десятки килобайт, а сотни, а порой могут быть и размером в пару мегабайт. Обычно такие вирусы пишут в языках программирования более высокого уровня, поэтому их легче остановить. Но по-прежнему существует угроза от вирусов, написанных на низкоуровневых машинных кодах наподобие ассемблера. Сложные вирусы заражают операционную систему, после чего она становится уязвимой и нерабочей. К сожалению, по прогнозам, в ближайшем будущем работа антивирусных компаний сильно осложнится в связи с тем, что будут сильнее распространяться вирусы с защитой от копирования.

**Dr.Web.** В последнее время стремительно растет популярность другой антивирусной программы - Doctor Web. Эта программа была создана в 1994 г. И. А. Даниловым. Dr.Web относится к классу детекторов – докторов и имеет так называемый "эвристический анализатор" - алгоритм, позволяющий обнаруживать неизвестные вирусы. "Лечебная паутина", как переводится с английского название программы, стала ответом отечественных программистов на нашествие самомодифицирующихся вирусов-мутантов, кото-

рые при размножении модифицируют свое тело так, что не остается ни одной характерной цепочки байт, присутствовавшей в исходной версии вируса.

Управление режимами осуществляется с помощью ключей. Пользователь может указать программе тестировать как весь диск, так и отдельные подкаталоги или группы файлов, либо же отказаться от проверки дисков и тестировать только оперативную память. Doctor Web может создавать отчет о работе, загружать знакогенератор Кириллицы.

Тестирование винчестера Dr.Web-ом занимает много времени, поэтому не каждый пользователь может себе позволить тратить столько времени на ежедневную проверку всего жесткого диска. Если информация на диске находится в архиве, то следует распаковать его в отдельный каталог на жестком диске и сразу же, не откладывая, запустить Dr.Web, задав ему в качестве параметра вместо имени диска полный путь к этому подкаталогу.

При начальном тестировании не стоит разрешать программе лечить файлы, в которых она обнаружит вирус, так как нельзя исключить, что последовательность байт, принятая в антивирусе за шаблон может встретиться в здоровой программе.

Программа Dr.Web:

- распознает полиморфные вирусы;
- снабжена эвристическим анализатором;
- умеет проверять и лечить файлы в архивах;
- позволяет тестировать файлы, вакцинированные СРАВ, а также упакованные.

**Avast.** Это комплексное программное средство для обнаружения и удаления вредоносных программ. Avast способен сканировать компьютер в нескольких режимах: полное сканирование, экспресс-сканирование и сканирование отдельной папки. Также есть возможность сканирования при загрузке компьютера. Этот процесс занимает довольно длительное время, но является наиболее эффективным.

**Kaspersky.** Kaspersky — это программное средство смело можно назвать одним из лидеров, среди продуктов для обеспечения безопасности. Многие неосведомленные пользователи критикуют его за то, что он сильно загружает оперативную память компьютера. Но так было раньше, а современные версии этого антивируса потребляют не очень много ресурсов, компьютера и не сильно влияют на быстродействие. Единственный затратный по ресурсам процесс — это сканирование жестких дисков, а во всех остальных случаях, антивирус практически не влияет на производительность системы.

В состав антивируса входит: классический антивирус, онлайн сканер, защищающий компьютер в режиме реального времени, антишпионский модуль.

**ESET NOD32.** ESET NOD32 тоже довольно популярное антивирусное средство, как и большинство других подобных продуктов он обладает классическим антивирусом, веб-антивирусом и антишпионом. NOD32

– один из самых быстрых антивирусов, работа которого никак не отражается на работе системы.

ESET NOD32 Business Edition включает в себя централизованную систему защиты серверов от троянов, рекламных вирусов, червей и многих других угроз. Также в продукте есть приложение ESET Remote Administrator используемый для администрирования корпоративных сетей.

ESETNOD32 Business Edition Smart Security – средство для комплексной защиты серверов и рабочих станций на больших предприятиях и офисах, включает в себя антивирус, антиспам, антишпион и персональный файрвол.

**Panda Security.** Антивирус PandaSecurity – одна из наиболее популярных и эффективных антивирусных программ. Компания предлагает большое количество готовых продуктов для офисного и домашнего пользования.

Для домашнего использования PandaSecurityпредлагает такие продукты как: PandaAntivirusPro (самый минимальный, но при этом достаточный уровень защиты компьютера), PandaInternetSecurity, PandaInternetSecurityforNetbooks, PandaGlobalProtection (наиболее полный комплект средств безопасности).

Для офисного использования линей антивирусных средств гораздо разнообразнее. В любом из вариантов есть возможность полноценной бесплатной работы.

Одно из интересных решений компании – PandaCloudProtection. Это средство рассчитанное для использования на средних и малых предприятиях, которое позволяет существенно сэкономить на расходах выделяемых для защиты ПК.

**AIDSTEST.** Программа AIDSTEST Д.Н. Лозинского была изобретена ее в 1988 г. и с тех пор она постоянно совершенствуется и пополняется. В России практически на каждом IBM-совместимом персональном компьютере есть одна из версий этой программы. Одна из последних версий обнаруживает более 1500 вирусов. Также эта программа совмещает в себе функции детекторов и докторов.

Программа Aidstest предназначена для исправления программ, зараженных обычными (неполиморфными) вирусами, не меняющими свой код. Это ограничение вызвано тем, что поиск вирусов этой программой ведется по опознавательным кодам. Зато при этом достигается очень высокая скорость проверки файлов.

При запуске Aidstest проверяет оперативную память на наличие известных ему вирусов и обезвреживает их. При этом парализуются только функции вируса, связанные с размножением, а другие побочные эффекты могут оставаться. Поэтому программа после окончания обезвреживания вируса в памяти выдает запрос о перезагрузке. При чем следует перезагрузиться кнопкой RESET, так как при "теплой перезагрузке" некоторые вирусы могут сохраняться.

Aidstest тестирует свое тело на наличие известных вирусов, а также по искажениям в своем коде судит о своем заражении неизвестным вирусом.

При этом возможны случаи ложной тревоги, например при сжатии антивируса упаковщиком. Программа не имеет графического интерфейса, и режимы ее работы задаются с помощью ключей. Указав путь, можно проверить не весь диск, а отдельный подкаталог.

Недостатки программы Aidstest:

- Не распознает полиморфные вирусы;
- Не снабжена эвристическим анализатором, позволяющим находить неизвестные ей вирусы;
- Не умеет проверять и лечить файлы в архивах;
- Не распознает вирусы в программах, обработанных упаковщиками исполнимых файлов типа EXEPACK, DIET, PKLITE и т.д.

Достоинства Aidstest:

- Легка в использовании;
- Работает очень быстро;
- Распознает значительную часть вирусов;
- Хорошо интегрирована с программой-ревизором Adinf;
- Работает практически на любом компьютере.

**AVP** (AntiViral Toolkit Pro). Данная программа была создана ЗАО «Лаборатория Касперского». AVP обладает одним из самых совершенных механизмов обнаружения вирусов.

AVP предоставляет пользователям максимум сервиса – возможность обновления антивирусных баз через Интернет, а также возможность задания параметров автоматического сканирования и лечения зараженных файлов. База данных включает описания уже почти 40 тысяч вирусов.

AVP состоит из нескольких важных модулей:

1) *AVP сканер* проверяет жесткие диски на предмет заражения вирусами. Можно задать полный поиск, при котором программа будет проверять все файлы подряд, а также задать режим проверки архивированных файлов. Одно из главных преимуществ AVP – *борьба с макровирусами*. Пользователь может выбрать специальный режим, при котором будут проверяться документы, созданные в формате Microsoft Office. После обнаружения вирусов или зараженных файлов, AVP предлагает на выбор несколько вариантов: удалить вирусы из файлов, удалить сами зараженные файлы или переместить их в специальную папку.

2) *AVP Monitor*. Эта программа автоматически загружается при запуске Windows. AVP Monitor автоматически проверяет все запускаемые на компьютере файлы и открываемые документы и в случае вирусной атаки сигнализирует об этом пользователю. Более того, в большинстве случаев AVP Monitor просто не дает зараженному файлу запуститься, блокируя процесс его выполнения. Эта функция программы очень полезна для тех, кто постоянно имеет дело со множеством новых файлов, например, для активных пользователей Интернет (т.к. каждые пять минут запускать AVP для проверки скачанных файлов невозможно, то здесь на помощь приходит AVP Monitor).



3) *AVP Inspector* – последний и очень важный модуль комплекта AVP, позволяющий отлавливать даже неизвестные вирусы. «Инспектор» использует метод контроля изменения размера файлов. Внедряясь в файл, вирус неизбежно увеличивает его объем, и «инспектор» легко его обнаруживает.

Кроме всего перечисленного существует так называемый *Центр Управления AVP* – «пульт управления» всеми программами комплекта AVP. Самая важная функция этой программы – встроенный Планировщик Задач, позволяющий осуществлять оперативную проверку (а если понадобится – и лечение системы) в автоматическом режиме, без участия пользователя, но в заданное им время.

#### **Литература:**

1. <http://www.bestreferat.ru/referat-52649.html>
2. <http://www.v-time.com.ua/antivirusy/233-antivirusnye-programmy-harakteristiki-klassifikaciya>
3. [http://otherreferats.allbest.ru/programming/00007939\\_0.html](http://otherreferats.allbest.ru/programming/00007939_0.html)

**Синотова Ольга Валерьевна** – студент КФ МГТУ им. Н.Э. Баумана.  
E-mail: [sinotova.olga2015@yandex.ru](mailto:sinotova.olga2015@yandex.ru).

O.V. Sinotova

## **COMPARATIVE CHARACTERISTICS OF ANTI-VIRUS PROGRAMS**

Bauman Moscow State Technical University, Kaluga Branch, Kaluga, 248000, Russia

*The questions of the origin, spread viruses, intrusion software are considered. The mechanisms of creation of antivirus databases are described. An overview of the modern anti-virus programs (AIDSTEST, AVP, Dr. Web, Avast, Kaspersky, ESET NOD 32, Panda Security) is given. Some characteristics of anti-virus software such as free anti-virus software, ease of installation and configuration, the frequency of updating anti-virus databases, popular antivirus software, also said, what types of programs are data antivirus, considered the pros and cons of software, especially software, types of recognized viruses are considered. Advantages and disadvantages of the considered solutions are identified. The conclusion what antivirus program is the most profitable to use in order to reduce the risk of infecting of computer is given.*

**Keywords:** *Keywords: virus, antivirus, antivirus database*

**Sinotova Olga Valerna**, student of the Kaluga Branch of the Bauman Moscow State Technical University. E-mail: [sinotova.olga2015@yandex.ru](mailto:sinotova.olga2015@yandex.ru).

УДК 004.492.2

Е.Е. Хмельницкая, А.А. Москвина, А.Б. Лачихина

## **УЯЗВИМОСТИ SQL SERVER**

КФ МГТУ им. Н.Э. Баумана, Калуга, 248000, Россия

*В данной статье рассматриваются уязвимости и угрозы различных областей SQL Server: платформы, проверки подлинности, объектов (в том числе данных) и приложений, которые обращаются к системе. Приводится их описание и перечисляются меры по их устранению. Подробно описывается угроза SQL Injection. Приводятся сравнительные характеристики ее предупреждения на различных языках программирования, таких как Java, C++, C#, Delphi, PHP и другие. Описываются меры по предотвращению угрозы с примерами кодов программ. Рассматривается одна из мер предотвращения угрозы SQL Injection – программа (расширение для Firefox) SQL Inject Me. Делаются выводы о совершенствовании системы безопасности SQL Server, а также о важности защиты данных, находящихся в какой-либо базе.*

**Ключевые слова:** *SQL Server, SQL Injection, угрозы, уязвимости, риски*

Microsoft SQLServer одна из систем управления базами данных, где информация организована в виде двумерного табличного массива, каждая ячейка которого соответствует одной единице хранения. В качестве языка структурированных запросов используется одно из процедурных расширений SQL (Transact-SQL). Хотя SQL Server включает разнообразные механизмы защиты, система все же содержит функции, которыми злоумышленник может воспользоваться для вредоносных целей. Каждый компонент может представлять риск, но не все угрозы равнозначны. Для одних требуется изменить программный код, для других - параметры, для третьих - методы применения. В следующих таблицах разъясняются угрозы и различные меры по их устранению. [1]

## Угрозы и уязвимости процесса

<b>Угроза или уязвимость</b>	<b>Определение</b>	<b>Меры по устранению угрозы или уязвимости</b>
<p>Политики безопасности</p>	<p>Политика безопасности представляет собой совокупность руководящих принципов, правил, процедур и практических приёмов в области безопасности, которые регулируют управление, защиту и распределение ценной информации. Включает в себя политики для правильного доступа к системам, обновлений, брандмауэров и антивирусных механизмов.</p>	<p>Создание, пересмотр, распространение и поддержка эффективной политики безопасности.</p>
<p>Принцип «наименьших прав доступа»</p>	<p>Данный принцип означает, что программы должны ограничивать свои возможности по работе с информацией так, чтобы они использовались лишь в тех областях программы, где они действительно необходимы. Принцип помогает снизить ущерб от ошибок программного обеспечения и непредвиденных побочных эффектов.</p>	<p>Пересмотр и реализация безопасности в соответствии с принципом наименьших прав доступа.</p>
<p>Бюллетени безопасности</p>	<p>Корпорация Майкрософт выпускает сведения по безопасности сразу же после проверки и тестирования на различных платформах. Организации, не следящие за бюллетенями безопасности, подвергают свои системы риску, поскольку не реализуют соответствующие рекомендации по безопасности.</p>	<p>Просмотр бюллетеней безопасности SQL Server.</p>

## Угрозы и уязвимости платформы

Угроза или уязвимость	Определение	Меры по снижению риска
Система не обновлена (не применены обновления программных продуктов)	Корпорация Майкрософт выпускает обновления программных продуктов, чтобы повысить безопасность SQL Server. Если не отслеживать и не применять эти обновления, система становится более уязвимой для атак.	Просмотр и применение всех пакетов обновления и исправления по мере их выпуска.
Атаки на сетевые порты	Сеть является основным каналом доступа при атаках на SQL Server. Причиной атаки могут стать открытые стандартные порты в Интернете.	Использование брандмауэра на сервере, если он подключен к Интернету, и средство диспетчера конфигурации SQL Server, чтобы настроить конфигурацию сети. Кроме того, важно рассмотрение возможности использования протокола SSL для повышения безопасности.
Недопустимые параметры учетной записи службы	Учетные записи служб для SQL Server часто имеют больше прав доступа к платформе или сети, чем необходимо.	Работа учетных записей служб для SQL Server должна быть в соответствии с принципом наименьших прав доступа; они также должны иметь надежные пароли.
Слишком обширная контактная зона	Возможности и функции SQL Server могут быть доступны, когда в них нет необходимости.	Средства «Диспетчер конфигурации SQL Server» и «Управление на основе политики» используются для управления функциями и другими компонентами.
Включены ненужные хранимые процедуры	Некоторые расширенные хранимые процедуры предоставляют доступ к реестру или операционной системе.	Включение хранимых процедур, предоставляющих доступ к операционной системе или реестру, только в случае крайней необходимости.

Таблица 3

## Угрозы и уязвимости проверки подлинности

<b>Угроза или уязвимость</b>	<b>Определение</b>	<b>Меры по снижению риска</b>
Простые пароли	Простые или короткие пароли уязвимы для атак, использующих простой перебор или перебор по словарю.	Использование надежных, сложных паролей.
Не проводится аудит учетных записей пользователя	Пользователи (участники) могут менять должности или уходить из организации. Следовательно, доступ к системе можно получить с прежним уровнем разрешений, если права доступа для учетной записи пользователя не изменены.	Регулярное проведение аудита учетных записей пользователя, чтобы убедиться в наличии у них соответствующих прав доступа к серверам базы данных и объектам.

Таблица 4

## Программные угрозы и уязвимости

<b>Угроза или уязвимость</b>	<b>Определение</b>	<b>Меры по снижению риска</b>
Атака SQL Injection	Внедрение вредоносного запроса в правильный запрос.	См. раздел «Меры по снижению риска SQL Injection».
Встроенные пароли	Некоторые приложения сохраняют строки соединения в файлах программы или конфигурации.	Хранение паролей или конфиденциальные сведения о соединении не в программе, реестре или файле конфигурации.

## Угрозы и уязвимости доступа к данным

Угроза или уязвимость	Определение	Меры по снижению риска
Неверно примененный алгоритм шифрования	Шифрование запутывает сведения о соединении в SQL Server. Отсутствие шифрования, когда оно необходимо, или использование шифрования, когда этого не требуется, приводит к излишнему риску и усложнению.	Понимание и грамотное применение шифрования SQL Server.
Неверно примененные сертификаты	Сертификаты – это механизмы для проверки подлинности. В SQL Server сертификаты используются для многих различных целей, например, для соединений или для данных. Общая надежность защиты может быть снижена неверным использованием самостоятельной сертификации и неоправданно увеличенными периодами проверки.	Понимание и грамотное применение сертификатов SQL Server.
Не созданы резервные копии ключей SQL Server	Экземпляр SQL Server и базы данных, которые содержатся в нем, могут иметь ключи, которые используются в различных защитных целях, в частности, для шифрования.	Создание резервных копий ключей сервера (главные ключи служб) и ключей базы данных и хранение их в безопасном месте. Кроме того, их необходимо периодически менять.

**Меры по снижению риска угрозы SQL Injection.** Как и другие системы, SQL Injection имеет ряд уязвимостей, поэтому очень важно свести их к определённому минимуму с помощью специальных мер защиты. Меры по снижению рисков по угрозам, касающимся SQL Server, во многом зависят от конкретного языка программирования, но все же общие принципы предотвращения схожи. Ниже приведены примеры, как это можно сделать[2]:

- **Использование динамических запросов только в случае крайней необходимости**

Таблица 6

Инструменты, заменяющие динамический запрос в различных языках программирования

Язык программирования	Инструменты, заменяющие динамический запрос
JAVA	Подготовленное выражение PreparedStatement() с привязанными параметрами
C++, C#, Паскаль, Delphi и другие языки программирования платформы .NET	Параметризованные запросы, такие как SqlCommand() или OleDbCommand() с привязанными параметрами
PHP	Расширение PHP Data Objects (PDO) со строгой типизацией параметризованных запросов (используя bindParam())

Во всех языках программирования также можно использовать хранимые процедуры. Они хранятся в базе, но, как и в подготовленных выражениях PreparedStatement(), вначале определяется SQL-запрос и в него передаются параметры.[2]

- **Проверка введенных данных в запросах**

Проверка ввода данных менее эффективна, чем параметризованные запросы и хранимые процедуры, но если нет возможности использовать последние, то выполнить проверку введенных данных все же необходимо. Точный синтаксис использования проверки введенных данных сильно зависит от базы данных.[2]

- **Включение параметра Magic Quotes**

Включение параметра magic\_quotes\_gpc может предотвратить некоторые SQL Injection. Magic quotes никак не последняя защита, и что еще хуже, иногда они выключены, и пользователь не знает об этом или не имеет возможности их включить.[3] Именно поэтому необходимо использовать код, который будет экранировать кавычки:

```

$username = $_POST['username'];
$password = $_POST['password'];
if (!get_magic_quotes_gpc()) {
$username = addslashes($username);
$password = addslashes($password);
}

```

- **Регулярная и своевременная установка исправлений**

Даже если код не имеет уязвимостей, то сервер баз данных, операционная система сервера или утилиты разработчиков могут иметь уязвимости. Именно поэтому всегда необходимо устанавливать исправления сразу после их появления, особенно если это исправление SQL Injection.

- **Удаление всего функционала, который не используется**

Сервер баз данных – это сложная система, имеющая большое количество функционала. Например, расширенная системная процедура xp\_cmdshell в MS SQL дает доступ к операционной системе. Именно поэтому эту функцию нужно отключать, как и любые другие, позволяющие легко злоупотреблять функционалом.[3]

- **Использование автоматизированных средств нахождения SQL Injection**

Чтобы избежать динамических запросов с подстановкой непроверенных пользовательских данных, необходимо выполнить определенные тесты и проверки. Существуют автоматизированные средства тестирования, для выявления SQL Injection. Один из простых инструментов для выявления SQL Injection это расширение для Firefox, именуемое SQL Inject ME. [4] Рабочая область SQL Inject ME показана на рисунке 1:



Рисунок 1 Окно меню программы SQL Inject Me



Можно выбирать параметры теста. По окончании проверки появится отчет о результатах тестирования.

### **Заключение**

Обеспечение безопасности MS SQL Server можно представить как последовательность шагов в четырех областях: платформа, проверка подлинности, объекты (в том числе данные) и приложения, которые обращаются к системе. Система безопасности в MS SQL Server постоянно совершенствуется. Однако, такие общие угрозы безопасности, как кража данных или вандализм, существуют независимо от самой платформы MS SQL Server. При отсутствии защиты данные могут стать бесполезными, если разрешено нерегламентированное управление данными и в данные случайно или преднамеренно вносятся неверные значения или они полностью удаляются.

### **Пристатейный библиографический список**

1. Microsoft SQL Server. Защита и обеспечение безопасности. [http://technet.microsoft.com/ru-ru/library/bb895180\(v=sql.105\).aspx](http://technet.microsoft.com/ru-ru/library/bb895180(v=sql.105).aspx)
2. ecomspace. Профилактика SQL-инъекций. <http://ecomspace.ru/user/vivi/blog/post/257>
3. Penetration Testing Tutorials | Learn Ethical Hacking <http://www.breakthesecurity.com/2011/08/how-to-prevent-sql-injection.html>
4. Интернет – технологии. Динамические SQL - запросы <http://phpmove.ru/page/sql-zaprosy>

**Хмельницкая Екатерина Евгеньевна** – студент КФ МГТУ им. Н.Э. Баумана. E-mail: [ekaterina.hmel@yandex.ru](mailto:ekaterina.hmel@yandex.ru).

**Москвина Анастасия Александровна** – студент КФ МГТУ им. Н.Э. Баумана. E-mail: [N.Naruka69@yandex.ru](mailto:N.Naruka69@yandex.ru).

**Лачихина Анастасия Борисовна** – канд. техн. наук, доцент КФ МГТУ им. Н.Э. Баумана. E-mail: [anastasia\\_lac@yahoo.com](mailto:anastasia_lac@yahoo.com).

E.E. Khmelnitskaya, A.A. Moskvina, A.B. Lachihina

## VULNERABILITIES OF SQL SERVER

Bauman Moscow State Technical University, Kaluga Branch, Kaluga, 248000, Russia

*The vulnerabilities and threats of the various components of SQL Server are discussed in this article. These problems are described and the measures to elimination them in each component are listed. The threat of SQL Injection is described in detail. The comparative characteristics of its prevention in different programming languages, for example Java, C++, C#, Delphi, PHP and others, are described. Measures to prevent the threat with the samples of programs's codes are described. One of the measures to prevent the threat of SQL Injection - program (extension for Firefox) SQL Inject Me is considered. Conclusions are drawn about improving the security of SQL Server, and also about the importance of protecting data in any database.*

**Keywords:** *SQL Server, SQL Injection, threats, vulnerabilities, risks*

### Literature

1. Microsoft SQL Server. Protection and security  
[http://technet.microsoft.com/ru-ru/library/bb895180\(v=sql.105\).aspx](http://technet.microsoft.com/ru-ru/library/bb895180(v=sql.105).aspx)
2. ecomspace. Prevention of SQL Injection.  
<http://ecomspace.ru/user/vivi/blog/post/257>
3. Penetration Testing Tutorials | Learn Ethical Hacking  
<http://www.breakthesecurity.com/2011/08/how-to-prevent-sql-injection.html>
4. Internet - technology. Dynamic SQL – query  
<http://phpmove.ru/page/sql-zaprosy>

**Khmelnitskaya Ekaterina Evgienievna**, student of the Kaluga Branch of the Bauman Moscow State Technical University. E-mail: [ekaterina.hmel@yandex.ru](mailto:ekaterina.hmel@yandex.ru).

**Moskvina Anastasiya Aleksandrovna**, student of the Kaluga Branch of the Bauman Moscow State Technical University. E-mail: [N.Haruka69@yandex.ru](mailto:N.Haruka69@yandex.ru).

**Lachihina Anastasiya Borisovna**, Ph. D., Assoc. Professor of Kaluga Branch of Bauman Moscow State Technical University. E-mail: [anastasia\\_lac@yahoo.com](mailto:anastasia_lac@yahoo.com).

## **УЯЗВИМОСТИ ИНТЕРНЕТ БРАУЗЕРОВ И МЕРЫ ПО ИХ НЕЙТРАЛИЗАЦИИ.**

КФ МГТУ им. Н.Э. Баумана, Калуга, 248000, Россия

*Говорится об уязвимостях интернет браузеров (веб-обозревателей) и мерах борьбы с этими уязвимостями. Рассматривается само понятие веб-обозревателей, приводится список, включающий пять наиболее популярных из них на данный момент времени. По результатам проведенного исследования выбирается самый используемый из приведенных. Перечисляются критерии выбора интернет браузера, главным из которых является безопасность. Дается средняя оценка безопасности браузерам из списка наиболее популярных браузеров. Приводится описание уязвимостей веб-обозревателей, а так же описание мер по борьбе с этими уязвимостями, таких как своевременное обновление интернет браузера, применение веб-антивируса, установка расширения SurfPatrol, использование проактивного фильтра, ведение журнала вторжений. Делается вывод о возможности обеспечения сохранности данных пользователя при соблюдении этих мер.*

**Ключевые слова:** Интернет, браузер, веб-обозреватель, сайт, безопасность, уязвимость, конфиденциальность, компьютер.

В современном мире компьютерных технологий уже трудно представить себе жизнь без такого информационного ресурса, как интернет. Он добрался даже до самых отдаленных уголков планеты. С его помощью находят требуемую информацию, общаются с друзьями, читают книги, а также работают. Интернет стал неотъемлемой частью жизни людей, охватывающей всевозможные области деятельности: промышленную, военную, культурную и другие.

Но чтобы получить доступ ко всем этим ресурсам «Всемирной паутины», одного только электронного устройства (компьютера, телефона, телевизора) для выхода в сеть недостаточно, - необходима программа, которая бы позволяла просматривать информацию на веб-страницах. Таким средством доступа к интернет страницам является интернет-браузер или, как его ещё называют, веб-обозреватель.

Интернет браузер — программа для просмотра электронных страниц на сайтах, которая осуществляет ввод каких-либо данных, манипулирование ими, а также навигацию между страницами. Браузер обрабатывает HTML код (гипер-разметку) и на его основе показывает информацию в удобном для пользователя виде. [1]

Браузер посылает запрос сервера на получение какой-либо информации или данных, интерпретирует все это специальным образом и показывает уже знакомую веб-страницу, такую, какой пользователи всегда и привыкли ее видеть. Создание и интерпретирование интернет-страниц определяется по отраслевым стандартам, которые утверждаются международной стандартизирующей организацией. [2]

На сегодняшний день существует около 50 различных браузеров для любых пользователей. К наиболее активно используемым относятся:

- Яндекс Браузер;
- Opera;
- Google Chrome;
- Mozilla Firefox;
- Internet Explorer;
- Другие (Safari, Uran, Orbitum).

Проанализировав статистические данные, можно сделать вывод, что самым используемым из этой восьмерки является интернет-обозреватель Google Chrome.

На следующей диаграмме показано распределение браузеров по популярности (Рис.1).

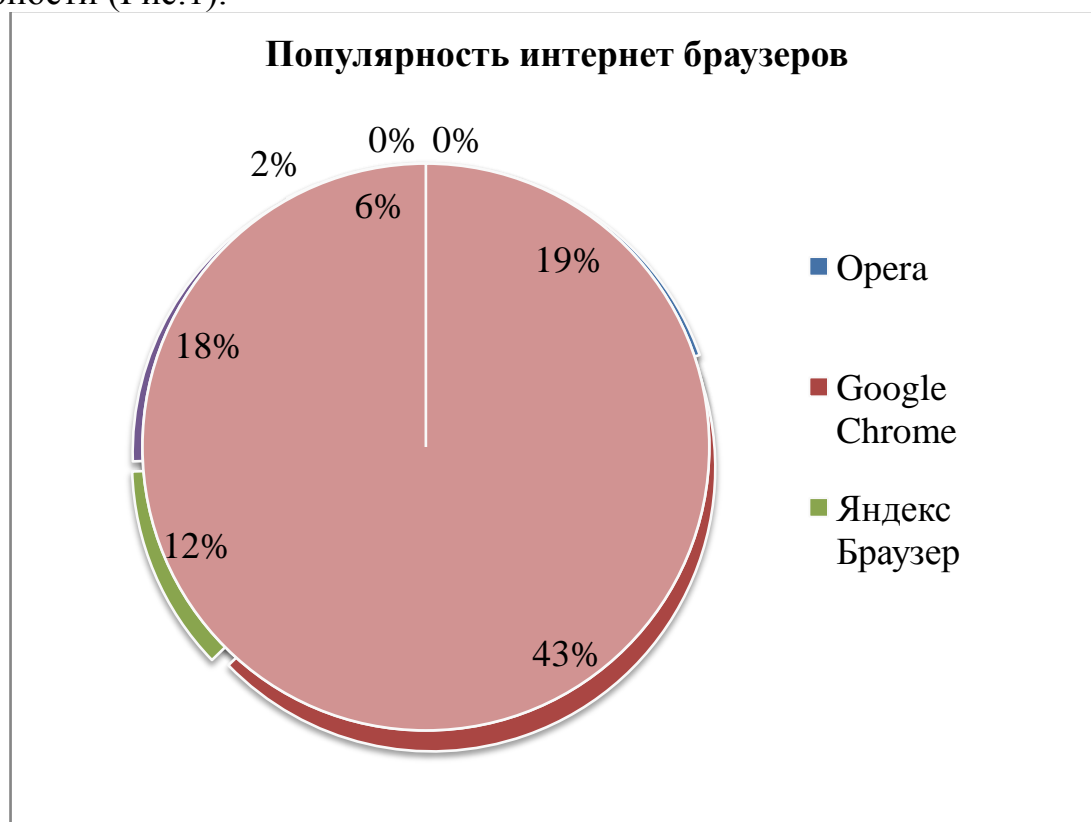


Рисунок 1 Диаграмма популярности интернет браузеров

Для выбора интернет браузера каждый пользователь определяет свои критерии оценки веб-обозревателей. Наиболее часто используемыми критериями выбора являются:

- быстродействие,
- безопасность,

- интерфейс,
- дополнительный функционал,
- расширения.

Наибольшее же внимание необходимо уделять такой характеристике, как безопасность, так как интернет является самой распространенной средой проведения различных атак. Именно от уровня безопасности интернет браузера зависит сохранность и конфиденциальность данных пользователей, а также нормальное функционирование их электронных устройств. [3]

На следующей диаграмме приведена усредненная оценка безопасности каждого из рассмотренных ранее браузеров. Как видно из диаграммы, наиболее защищенным является Google Chrome.

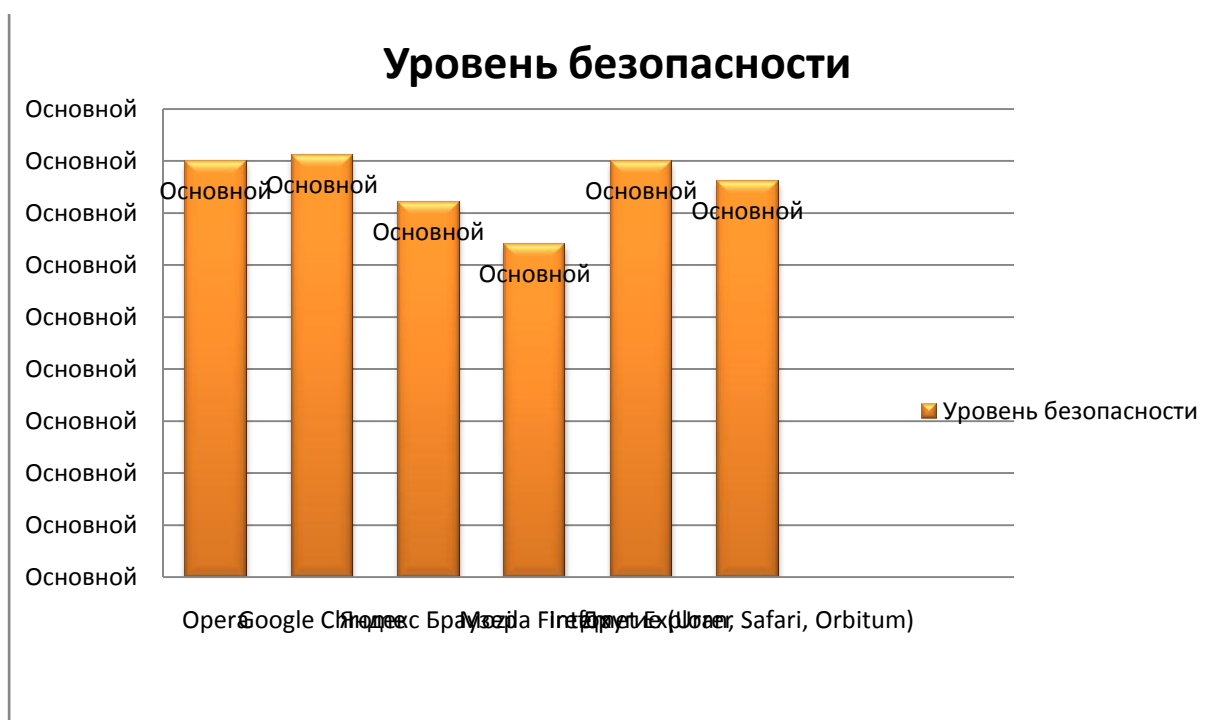


Рисунок 2 Диаграмма Уровня безопасности

Уровень безопасности веб-обозревателей можно оценить путем рассмотрения их уязвимостей.

Описание уязвимостей, обнаруженных за последнее время в интернет-браузерах, приведено в следующем списке.

Уязвимость 1. Позволяет отслеживать движения курсора мыши по экрану. При этом злоумышленники могут следить за действиями жертвы даже тогда, когда окно свернуто или неактивно.

Более того, перехвату поддаются символы, введенные при помощи виртуальной клавиатуры, а значит под угрозой оказываются такие важные данные, как пароли или PIN-коды в интернет-банках. При этом все, что требуется от хакера — это купить рекламный блок на сайте и встроить в него нужный код.

Уязвимость 2. Позволяет злоумышленнику захватить полный контроль над удалённым компьютером и выполнить на нём произвольные

действия с привилегиями текущего пользователя. Для проведения атаки достаточно заманить жертву на сформированную специальным образом веб-страницу, содержащую вредоносный код. [4]

Уязвимость 3. Позволяет злоумышленникам получить несанкционированный доступ к конфиденциальным пользовательским данным, например, к информации о банковских аккаунтах или паролям. Проблема связана с функцией JavaScript "OnKeyDown" и обеспечивает возможность перехвата строк, введенных пользователем с клавиатуры в форму на веб-странице.

Уязвимость 4. В соответствии с настройками "по умолчанию", файлы, признанные браузером "безопасными", открываются сразу же после загрузки. "Безопасными" считаются аудио- и видеофайлы, изображения, текстовые документы и ряд других файлов.

Пользователь далеко не всегда может быть полностью уверен в безопасности содержимого файлов, скачиваемых из Сети. Таким образом, под файлом с вполне "мирным" расширением, к примеру, .JPG, .GIF, .WMV, .ZIP или .PDF можно замаскировать абсолютно любое приложение, содержащее вредоносный скрипт. [5]

Уязвимость 5. Позволяет злоумышленнику подменить файлы куки на электронном устройстве, использующем уязвимый браузер. Куки - это небольшие текстовые файлы, в которые браузер может записывать данные, полученные от сервера. Когда вы переходите на страницу сайта, сервер может считывать информацию, содержащуюся в куках. Эти файлы могут использоваться, например, для хранения пароля пользователя или индивидуальных настроек сайта. [6]

Последствием такой подмены является получение злоумышленником доступа к данным, хранящимся на вашем компьютере.

Уязвимость 6. Позволяет преступникам обойтись без создания специальных веб-сайтов и страниц. Весь вредоносный код успешно укладывается в строку URI, а с помощью различных сервисов сокращения вроде TinyURL опасную ссылку можно превратить в ничем не примечательный короткий адрес.

Таким образом, для проведения фишинговой атаки злоумышленнику не требуется создавать фальшивые ресурсы и размещать на каком-либо сервисе и повторяющие вид банковских или других страниц. Новый способ позволяет упаковать подложную страницу в одну ссылку. Так преступник обходит ограничения провайдеров и веб-фильтров, а браузеры открывают ссылку без загрузки каких-либо дополнительных ресурсов. Вредоносный код URI может содержать целый архив с фальшивой веб-страницей и кодом для хищения личных данных пользователя для входа в банковские счета и другие критически важные системы.

Чтобы предупредить и исключить возможность проведения атак посредством перечисленных уязвимостей, необходимо принять меры по выявлению и устранению уязвимостей и угроз.

В следующей таблице приведены меры по борьбе с уязвимостями, а также меры по предупреждению потенциальных атак посредством этих уязвимостей.

Таблица 1

## Меры борьбы с уязвимостями и меры предупреждения потенциальных атак

Меры борьбы с уязвимостями	Описание
Своевременное обновление интернет браузера	<p>При создании продукта велика вероятность, что программист допустит ошибку в коде, из-за чего в защите программы образуется «брешь» в защите, через которую злоумышленник может осуществить атаку. Большая часть этих ошибок выявляется на этапе использования готовой программы. Для их устранения разработчики анализируют выявленные уязвимости и, переработав программный код продукта с учетом обнаруженных недочетов, выпускают следующую версию этой же программы, но с «залатанной брешью», что исключает проведение атак через данную уязвимость.</p>
Применение веб-антивируса	<p>Применение веб-антивируса повышает защищенность и скорость реакции на веб-угрозы. Веб-антивирус препятствует проникновению вредоносного кода в «брешь» интернет браузера. Это происходит следующим образом. Веб-антивирус выявляет в HTML коде потенциально опасные участки и «вырезает» подозрительные объекты из кода сайта. В итоге вирусы не могут проникнуть на компьютер пользователя сайта. И, что не менее важно, веб-антивирус уведомляет администратора портала о наличии заразы. Получая информацию об этом, администратор ищет источник зловредного кода, проводит «зачистку» компьютера и усиливает профилактические меры. [7]</p>
Установка расширения SurfPatrol	<p>Расширения SurfPatrol автоматически проверяет браузер. Оно сканирует браузер, и в случае обнаружения уязвимости браузера или плагина, своевременно предупреждает об этом, что позволяет вовремя предпринять необходимые меры по защите информации вашего компьютера. [8]</p>
Использование проактивного фильтра	<p>Использование проактивного фильтра обеспечивает нейтрализацию уязвимости восприимчивости к воздействию большинства известных атак на веб-приложения. В потоке внешних запросов пользователей проактивный фильтр распознает большинство опасных угроз и блокирует вторжения на сайт. Действие фильтра основано на анализе и фильтрации всех данных, поступающих от пользователей через переменные и куки.</p>

Ведение журнала вторжений	В Журнале регистрируются все события, происходящие в системе, в том числе необычные или злонамеренные. Это позволяет обнаруживать атаки и попытки атак в момент их проведения, таким образом, выявив «брешь», посредством которой они осуществляются. Это означает появление возможности незамедлительного принятия ответных мер, и, в некоторых случаях, даже предупреждение атаки. [9]
---------------------------	--

Следуя перечисленным мерам борьбы с уязвимостями интернет браузеров и мерам предупреждения потенциальных атак, возможно обеспечить сохранность и конфиденциальность данных, хранящихся на электронных устройствах, в достаточной степени при работе в глобальной сети.

### ЛИТЕРАТУРА

1. Тестирование скорости. URL: [http://speedtester.info/info\\_20\\_что\\_такое\\_internet\\_браузер\\_internet\\_браузер\\_web\\_browser.html](http://speedtester.info/info_20_что_такое_internet_браузер_internet_браузер_web_browser.html) (дата обращения 24.09.2014)
2. Изображение CMS. URL: <http://www.imagecms.net/blog/obzory/sovremennye-brauzery-reiting-bezopasnosti-i-nadezhnosti> (дата обращения 24.09.2014)
3. Компания SD. URL: <http://sd-company.su/article/browsers/browser> (дата обращения 24.09.2014)
4. Блог Вадима Стеркина. URL: <http://www.outsidethebox.ms/11878> (дата обращения 29.09.2014)
5. Компьюлента. URL: <http://soft.compulenta.ru/254138> (дата обращения 29.09.2014)
6. Компьютерный портал F1CD. URL: <http://www.f1cd.ru/news/internet/2> (дата обращения 3.10.2014)
7. Техномания. URL: <http://texnomaniya.ru/internet-news/ujazvimost-internet-explorer-pozvoljaet-otsledit-dvizhenija-mishi.html> (дата обращения 3.10.2014)
8. Компания SP. URL: <http://www.surfpatrol.ru/ru/about#extensions> (дата обращения 6.10.2014)
9. 1С-Битрикс. URL: <http://www.1c-bitrix.ru/products/cms/security> (дата обращения 6.10.2014)

**Хорошилова Мария Александровна** студент КФ МГТУ им. Н.Э. Баумана. E-mail: [mary.hory@yandex.ru](mailto:mary.hory@yandex.ru)

**Лачихина Анастасия Борисовна**, канд. техн. наук, доцент КФ МГТУ им. Н.Э. Баумана. E-mail: [anastasia\\_lac@yahoo.com](mailto:anastasia_lac@yahoo.com).



M.A. Khoroshilova, A.B. Lachikhina

## **VULNERABILITIES IN INTERNET BROWSERS AND MEASURES TO NEUTRALIZE THEM.**

Bauman Moscow State Technical University, Kaluga Branch, Kaluga, 248000, Russia

*It is said about vulnerabilities in Internet browsers (web browsers) and the measures against these vulnerabilities. It is discussed the meaning of web browsers, listed the five most popular ones at the moment. In the study selected the most used of these. It is listed the selection criteria of the Internet browser, the main of which is security. It is given an average score of secure browser from the list of the most popular browsers. It is described vulnerabilities in web browsers, as well as a description of measures to combat these vulnerabilities, such as timely updating of the Internet browser application web anti-virus, install extensions SurfPatrol, using proactive filter, logging intrusion. The conclusion is about the possibility of securing user data in compliance with those measures.*

**Keywords:** internet, browser, web browser, site, security, vulnerability, confidentiality, computer.

### **LITERATURE**

1. Speedtester. URL: [http://speedtester.info/info\\_20\\_chno\\_takoe\\_internet\\_brauzer\\_internet\\_brauzer\\_web\\_browser.html](http://speedtester.info/info_20_chno_takoe_internet_brauzer_internet_brauzer_web_browser.html) (date of access 24.09.2014)
2. Image CMS. URL: <http://www.imagecms.net/blog/obzory/sovremennye-brauzery-reiting-bezopasnosti-i-nadezhnosti> (date of access 24.09.2014)
3. Company SD. URL: <http://sd-company.su/article/browsers/browser> (date of access 24.09.2014)
4. Vadim's Sterkin outsidethebox. URL: <http://www.outsidethebox.ms/11878> (date of access 29.09.2014)
5. Compulenta. URL: <http://soft.compulenta.ru/254138> (date of access 29.09.2014)
6. F1CD. URL: <http://www.f1cd.ru/news/internet/2> (date of access 3.10.2014)
7. Texnomaniya. URL: <http://texnomaniya.ru/internet-news/ujazvimost-internet-explorer-pozvoljaet-otsledit-dvizhenija-mishi.html> (date of access 3.10.2014)
8. Company SP. URL: <http://www.surfpatrol.ru/ru/about#extensions> (date of access 6.10.2014)
9. 1C-Bitrix. URL: <http://www.1c-bitrix.ru/products/cms/security> (date of access 6.10.2014)

**Khoroshilova Maria Aleksandrovna**, student of the Kaluga Branch of the Bauman Moscow State Technical University. E-mail: [mary.hory@yandex.ru](mailto:mary.hory@yandex.ru).

**Lachihina Anastasiya Borisovna**, Ph. D., Assoc. Professor of Kaluga Branch of Bauman Moscow State Technical University. E-mail: [anastasiya\\_lac@yahoo.com](mailto:anastasiya_lac@yahoo.com).

Я.А.Бланк, О.С. Клочко

## **МАТНСАД КАК СРЕДСТВО АНАЛИЗА ДАННЫХ В ОБЛАСТИ ИНФОРМАЦИОННОЙ БЕЗОПАСНОСТИ**

КФ МГТУ им. Н.Э. Баумана, Калуга, 248000, Россия

Нередко персональный компьютер используется для выполнения математических и научно-технических расчетов, однако, сам по себе ПК не облегчает расчеты, а лишь повышает скорость их выполнения. Для эффективного осуществления подобных расчетов необходимо знать различные методы вычисления и языки программирования высокого уровня, такие как C++, C#, Perl, Delphi, Паскаль и др. Часто эту задачу выполняет обычный пользователь, не владеющий вышеперечисленными языками программирования. С целью изменить данное положение вещей используются пакеты прикладных программ, автоматизации математических расчетов, рассчитанные на широкий круг специалистов. MathCAD является одним из таких пакетов. MathCAD нередко используется в области информационной безопасности. Например, для определения вероятностей нахождения системы в том или ином состоянии составляется система дифференциальных уравнений Колмогорова. Решать подобную задачу на бумаге неудобно, так как требуется много времени и сил. Также велика вероятность совершения ошибки. Целесообразнее решать подобную систему в MathCAD. Другим примером может являться использование теории принятия решений в условиях информационных конфликтов (теория игр). А так как вся теория игр построена на решениях матричных игр, то MathCAD очень помогает в их решении. Далее будут рассмотрены преимущества MathCAD и процесс его эволюции.

MathCAD — система компьютерной алгебры из класса систем автоматизированного проектирования, ориентированная на подготовку интерактивных документов с вычислениями и визуальным сопровождением, отличается легкостью использования и применения для коллективной работы.

MathCAD был задуман и первоначально написан Алленом Раздвом из Массачусетского технологического института (MIT), соучредителем компании Mathsoft в 2001 году. Впервые появившись на мировом рынке в 1986 году, MathCAD приобрел широкую известность и заслуженную популярность.

MathCAD обладает следующими преимуществами:

1) Позволяет инженерам, химикам, физикам и другим специалистам, не владеющим языками программирования моделировать математически сложные задачи.

2) Расчеты, сделанные в MathCAD, выглядят так, будто они написаны от руки, что существенно облегчает процесс восприятия.

3) С помощью данной системы можно не только осуществить расчеты, но и оформить работу с помощью графиков, таблиц, диаграмм и формул.

4) Немаловажным плюсом MathCAD возможность осуществления защиты информации.

5) Несмотря на то, что MathCAD создавался для пользователей непрограммистов, он все же имеет встроенный язык программирования.

6) В MathCAD есть возможность работы с текстом. Можно не только совмещать текст и формулы, но и устанавливать метки табуляции, центрировать и выравнивать напечатанный текст, а также для наглядности выделять фрагменты текста и проверять орфографию.

Особый интерес представляют встроенные в систему электронные книги, содержащие справки (математические формулы), иллюстрации и примеры применения системы по ряду разделов математики, механики, физики, электротехники и радиотехнике, а также по интерфейсу системы. Можно выделить нужную справку – формулу или рисунок - и перенести ее в текст документа.

Основное отличие MathCAD от аналогичных программ — это графический, а не текстовый режим ввода выражений. Для набора команд, функций, формул можно использовать как клавиатуру, так и кнопки на многочисленных специальных панелях инструментов. Любые переменные, формулы, параметры можно изменять, наблюдая воочию соответствующие изменения результата. Это дает возможность организации действительно интерактивных вычислительных документов.

С момента выпуска первой версии MathCAD прошло 28 лет. Все это время компания Mathsoft, которая с 2006 года является частью корпорации PTC (Parametric Technology Corporation) постоянно совершенствовала MathCAD и выпускала новые версии данной системы.

**Версии 1.0-5.XX.** Версии MathCAD с 1.0 по 4.xx работали в операционной системе DOS и имели небольшой общий размер исполняемых файлов (до 1 Мб). По современным меркам первые версии имели низкие системные требования (оперативная память до 1 МБ, IBM PC-совместимый компьютер). Можно было выполнять операции, как с элементарными математическими функциями, так и специальными (статистическими, булевыми, комплексными и т. п.). Уже в первых версиях присутствовала возможность использования размерностей в расчетах и построения 2D-графики.

3D-графика появилась, начиная с версии 2.5X (1989 г.) и выше. Ее возможности были ограничены низкими вычислительными возможностями ЭВМ тех времен.

Возможности программирования ограничивались функциями if и until, позволявшие реализовывать лишь две основные алгоритмические конструкции — выбор и повторение. Но эти функции не могут иметь в качестве аргументов блоки составных операторов. Поэтому для реализации даже несложного алгоритма нужно было подключать механизм вложенных функций, существенно усложняющего программирование.

Версии с 5-й и выше уже работали на платформе Windows. Начиная с пятой версии MathCAD, пользователям была представлена возможность объявления в среде MathCAD новых встроенных функций. Их нужно было написать

на языке С, откомпилировать 32-разрядным транслятором и прикрепить к MathCAD через механизм DLL. В пятой версии также появились инструменты решения обыкновенных дифференциальных уравнений (ОДУ) и их систем.

**MathCAD 6.** Версии MathCAD 6.0 и PLUS 6.0 были рассчитаны на работу с ОС Windows 95. Интерфейс системы был улучшен, повышена скорость выполнения операций, введены многочисленные новые графические возможности, новые функции и новые возможности программирования. Mathcad 6 более серьезные требования по сравнению с первыми версиями: система ориентирована на ПК класса 386DX и выше с емкостью RAM не менее 4 Мб и свободным пространством на диске не менее 12 Мб для файла подкачки и ещё 20 Мб для установки самой системы.

Вариант системы 6.0 Standard Edition рассчитан на обычных пользователей, к которым относятся ученые, инженеры, преподаватели и студенты вузов. Вариант системы — PLUS 6.0 — ориентирован на пользователей-профессионалов, которым требуется более мощный математический помощник. Для версий PLUS дополнительно включалось средство рисования технических и бизнес-диаграмм Visio Express корпорации Visio.

**MathCAD 7.** Седьмая версия MathCAD подверглась следующим изменениям: появилось возможность обработки ошибок в ходе вычислений, возможность подготовки сложных документов различными пользователями, работающими в разных местах и обмена данных через интернет. Серьезным дополнением стала возможность использования функций других систем (Excel, Ахит, MATLAB и др.) и фактическая интеграция с ними.

**MathCAD 8.** В MathCAD 8 были усовершенствованы средства форматирования графиков. На одном трехмерном графике стало возможным изображать фигуры и поверхности разного типа, а также объекты с пересечением в пространстве. В ранних версиях можно было использовать не более 50 уравнений. В восьмой версии это число увеличилось до 200. Возможна запись документов в формате HTML.

**MathCAD 2000 (версия 9).** В данной версии появился ряд новых функций для финансово-экономических расчетов. Введены набор функций для выполнения регрессии — экспоненциальной, логарифмической, синусоидальной и др., набор логических операторов и пошаговое выполнение программы (трассировка). Появился контроль орфографии англоязычных текстов на трех диалектах английского языка.

**Mathcad 2001i («интерактивный»).** MathCAD 2001i получил полную поддержку Windows XP, расширены возможности сбора данных от внешних устройств, повышенную защищенность Mathcad-документов введением современной криптографии, упрощенную публикацию в Интернет, расширенное число алгоритмов решения задач и набор опций пользовательских настроек.

Основными нововведениями стали:

Включение современных методов криптографии файлов для защиты содержания документов до того момента, пока они не поступят в руки адресатов, кроме того, при распространении документов добавлена возмож-

ность заблокировать все области MathCAD с конструкциями и вычислениями, то есть распространять результаты, не открывая сути идей. MathCAD 2001i также предоставил возможность пользователям задавать новые опции секретности для защиты от внесения в документы кодов, опасных для пользовательских компьютерных систем;

**MathCAD 12.** По сравнению с более ранними версиями лучило более совершенное математическое ядро. Появились дополнительные опции, позволяющие сохранять и публиковать документы MathCAD в различных форматах. Например, опция XSL-FO, позволяющая сохранять данные в формате PDF. Появилась Двойная ось ординат на двумерных графиках, что позволяет представить на одном графике функции, которые значительно различаются по величине, а также увеличить допустимое количество графиков, которые могут одновременно отображаться в одном блоке, до 32 (по сравнению с 16 в предыдущих версиях). Появились новые возможности по импорту данных из файлов, созданных другими программами, поддержка большого количества новых форматов данных.

Начиная с 12-й, версии, в связи с использованием формата данных XML, а также с постепенным ростом функционального инструментария, имеют ограниченную обратную совместимость документов с предыдущими версиями, но могут почти без ограничений открывать документы, созданные в старых версиях.

**MathCAD 13.** В MathCAD 13 появились мощные средства отладки программ, включая возможность вставки меток и пошагового выполнения программных циклов; новая функция автосохранения позволяет исключить возможность потери выполненной работы; указатель математических ошибок; поддержка нелинейных единиц измерения, таких, как Фаренгейт, Цельсий и децибел; возможность создания собственных единиц измерения с помощью простого меню. Существенно повысилась производительность вычислений по сравнению с предыдущими версиями.

**MathCAD 14.** В этой версии существенные изменения коснулись математического ядра системы, которое теперь использует символьную систему MuPAD. Это позволило во многих случаях повысить точность символьных вычислений и их детализацию. Но это изменение имеет и негативные последствия, связанные, в первую очередь, с совместимостью символьных алгоритмов с предыдущими версиями (вычисления, которые работают в предыдущих версиях, могут не выполняться в новой, и наоборот).

В ходе разработки MathCAD 14 введена полная поддержка шрифтов Unicode и азиатских локализаций операционных систем. Интерфейс переведен на девять, поддерживается проверка орфографии на 15-ти языках. Символьные вычисления теперь возможны и с векторизованными функциями.

**MathCAD 15.** Mathcad 15 имеет возможность поддержки Microsoft Excel 2007 и ОС Microsoft Windows7; интеграции с базами данных Knovel Math и Truenumbers и ПО Kornucopia.

**MathCAD Prime 3.0.** На сегодняшний день **MathCAD Prime 3.0** является новейшей версией. Из новшеств можно отметить шаблоны документов - инструмент для повторяемых расчетов, позволяющий создавать шаблоны для документов любого содержания с неограниченным количеством расчетов. Улучшены математические расчеты, модуль решателя, работа с 3D-графиками

MathCAD завоевал популярность во всем мире. Им пользуются в работе свыше 5 млн. человек.

Основное преимущество MathCAD по сравнению с другими расчетными пакетами состоит в том, что MathCAD не требует особой компьютерной и математической подготовки для решения задач средней сложности. Если с пакетом MathCAD долго не работать, то навыки работы с ним не забываются и при необходимости можно сразу приступить к решению возникшей расчетной задачи. «Конкуренты» же MathCAD, требуют непрерывного использования, иначе восстановить навыки работы пакетом будет довольно трудно.

MathCAD имеет огромное значение как средство анализа данных в области информационной безопасности. Использование MathCAD упрощает процесс обработки данных и уменьшает вероятность совершения ошибки, что недопустимо при таких ответственных задачах как, например, выбор средства эффективной защиты от DoS/DdoS-атак и оценки уязвимостей в программном обеспечении организации и пр.

### Список литературы

1. <http://allmathcad.com/ru/zadachi.html>
2. Макаров Е. Mathcad: учебный курс— Спб.: Питер, 2009
3. Б. Акишин, Н. Эркенов. Прикладные математические пакеты. Часть 1. MathCAD. 2009
4. <http://www.maximum.axoft.ru/upload/iblock/30a/30ae60a4a554e4c6bad4ab2c7611cd1d.pdf>
5. [http://niceone.ru/load/uchebnye\\_materialy\\_dlja\\_studentov/mathcad/istorija\\_sozdaniya\\_i\\_vozmozhnosti\\_sistemy/13-1-0-69](http://niceone.ru/load/uchebnye_materialy_dlja_studentov/mathcad/istorija_sozdaniya_i_vozmozhnosti_sistemy/13-1-0-69)
6. <http://www.exponenta.ru/soft/mathcad/mathcad.asp>
7. Mathsoft, Inc. Mathcad: user's guide; Mathcad 2000 Professional, Mathcad 2000 Standard. —Cambridge, Mass.: MathSoft, ©1986-1999

**Бланк Яна Андреевна** – студент КФ МГТУ им. Н.Э. Баумана. E-mail: yanablank10@gmail.com.

**Клочко Ольга Сергеевна** – ассистент кафедры «Информационная безопасность автоматизированных систем» КФ МГТУ им. Н.Э. Баумана. E-mail: klochkoolgakaluga@gmail.com.

В.Л. Бухман, О.С. Ключко

## **АНАЛИЗ ПРОГРАММНОГО ПРОДУКТА, ОБЕСПЕЧИВАЮЩЕГО ПОМЕХОУСТОЙЧИВОСТЬ ПРИ ПЕРЕДАЧЕ ИНФОРМАЦИИ**

КФ МГТУ им. Н.Э. Баумана, Калуга, 248000, Россия

Для ослабления действия помех увеличивают мощность сигнала, уменьшают мощность помех, воздействуя на источники их возникновения. Однако этим путем не всегда можно добиться успеха. Физическая среда, по которой передаются данные, не может быть абсолютно надёжной. Более того, уровень шума бывает очень высоким. Ошибки при передаче существуют и их обязательно нужно учитывать. В связи с этим возникает задача надления сигнала, несущего информацию, свойством противостоять вредному действию помех, т.е. свойством помехоустойчивости к тому или иному виду помех. Таким образом, помехоустойчивое кодирование является одной из задач информационной безопасности. Помехоустойчивое кодирование сообщений дает возможность обнаружить ошибки в принятых сообщениях или обнаруживать и исправлять их. Далее будет рассмотрен алгоритм программного продукта, который придает зашифрованной информации свойства помехоустойчивости.

Работа данного программного обеспечения начинается с перекодирования текста сообщения, который вводится пользователем. На этом этапе идет использование шифра Гронсфельда. Шифр Гронсфельда - модификация шифра Цезаря числовым ключом. Для этого под буквами исходного сообщения записывают цифры числового ключа. Если ключ короче сообщения, то его запись циклически повторяют. Шифртекст получают примерно, как в шифре Цезаря, но отсчитывают по алфавиту не третью букву (как это делается в шифре Цезаря), а выбирают ту букву, которая смещена по алфавиту на соответствующую цифру ключа. Например, применяя в качестве ключа число "271" для исходного текстового сообщения "привет", получаем шифртекст "счйдму" (Таблица 1).

Таблица 1

Шифр Гронсфельда

Сообщение	п	р	и	в	е	т
Ключ	2	7	1	2	7	1
Шифртекст	с	ч	й	д	м	у

После выполнения шифрования исходного сообщения, программа получает шифртекст. Получившийся результат проходит процесс перекодировки в двоичный код с постоянным числом единиц и нулей. Этот код содержит постоянное число единиц и нулей. Наиболее употребляемыми

являются пятиразрядный код с двумя единицами и семиразрядный код с тремя единицами, но в описываемой программе употребляется одиннадцатиразрядный код с тремя единицами для большей мощности алфавита. Эти коды достаточно помехоустойчивые, т.к. позволяют обнаруживать большое число искажений. Правильность принятых кодовых комбинаций в кодах определяется путем подсчета количества единиц, и если, например, в коде с двумя единицами принято не две единицы, а в коде с тремя не три единицы, то в передаче произошла ошибка. Очевидно, что код с тремя единицами может обнаружить все одиночные ошибки, т.к. в этом случае в комбинации будет либо две единицы, либо четыре. Кроме того, этот код позволяет обнаружить часть многократных ошибок (двойные, тройные и т.п.), за исключением случаев двойного искажения, которое называется смещением. При двойных смещениях (переход двух единиц в нуль и двух нулей в единицу) искажение также не обнаруживается. Пример выполнения данного участка кода приведен в таблице ниже.

Таблица 2

Код с постоянным числом единиц и нулей

с	ч	й	д	м	у
00011000100	00011100000	00010000110	00010000101	00010100010	00010101000

По завершению перекодирования информации, весь двоичный код выводится на экран в специально отведенном для него месте. В текстовом поле, где содержится двоичный код, есть возможность специально допустить ошибки, имитируя помехи сигнала. После этого программа выполняет проверку на ошибки, а по нахождению возможных ошибок выводит на экран обратно перекодированную информацию, а в последствии, и обратно перешифрованную полученную строку. Пример работы целой программы показан на рисунке ниже.

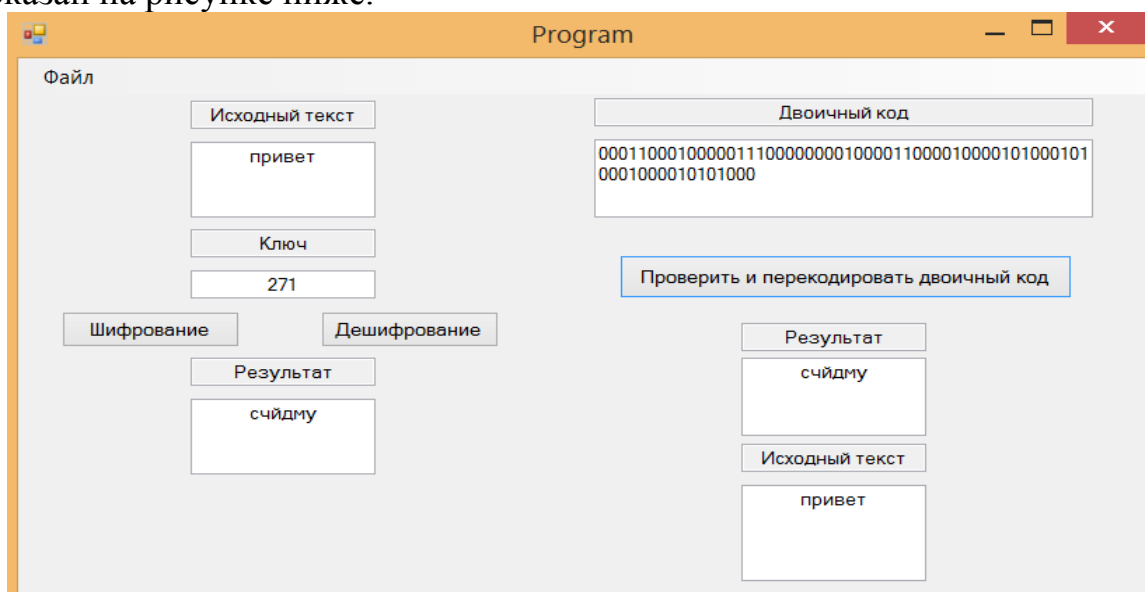


Рисунок 1 Изображение окна программы, выполняющей шифрование и кодирование информации



В результате проведения анализа данной программы, я нашел слабые места и частично модифицировал процесс кодирования информации, что позволяет повысить степень защиты передаваемой информации. Поскольку в данном кодировании будет неизвестно допущена ли ошибка при смещении (например: смещение единицы в коде “00000000111” и получение при входе “00000001011”), то я попытался исправить эту ошибку следующим образом: закодировать каждый символ так, чтобы в двоичном коде каждого символа единицы были отделены от друг друга и от краев либо четным количеством нулей, либо стояли вплотную. Например: 00000000111, 00000010011, 00001001100, 00001100100 и т.д. В данной модификации увеличится вероятность декодирования кода при смещении. Например, если при передаче кода “00001001100” будет допущена ошибка и получится “00000101100”, то, в отличие от обычной кодировки, будет известно, где произошла ошибка и программа сможет выбрать один из 2-х вариантов: либо “00001001100”, либо “00000011100”. Однако нельзя не учитывать минусы данного дополнения, т.к. одним из них является снижение мощности алфавита.

#### **Список литературы**

1. <http://esis-kgeu.ru/telmeh/100-telemeh>
2. <http://academout.ru/courseworks/information1/3.php>
3. Золотарев В.В., Овечкин Г.В., Помехоустойчивое кодирование. Методы и алгоритмы: Справочник, 2004
4. Морелос-Сарагоса Р., Искусство помехоустойчивого кодирования - методы, алгоритмы, применение, 2005
5. Цымбал В.П., Теория информации и кодирование, 1992

**Бухман Владислав Леонидович** – студент КФ МГТУ им. Н.Э. Баумана. E-mail: [vladislav.buhman@outlook.com](mailto:vladislav.buhman@outlook.com)

**Клочко Ольга Сергеевна** – ассистент кафедры «Информационная безопасность автоматизированных систем» КФ МГТУ им. Н.Э. Баумана. E-mail: [klochkoolgakaluga@gmail.com](mailto:klochkoolgakaluga@gmail.com).

## ВОПРОСЫ ПОВЫШЕНИЯ ТОЧНОСТИ РЕГИСТРАЦИИ ДЛИТЕЛЬНОСТИ ОДНОПОЛЯРНЫХ СИГНАЛОВ

В современной технике документального обмена информацией достоверность приема информации, передаваемой по линиям связи однополярными дискретными сигналами в соответствии со стандартами, а так же запас устойчивости связи в значительной степени зависят от параметров входных устройств цифровых приемников.

Одним из важнейших параметров входных устройств, определяющих точность регистрации однополярных сигналов, является значение уровня регистрации и его стабильность во времени и при действии дестабилизирующих факторов. [1]

Рассмотрим одноуровневый метод регистрации однополярных сигналов с фронтами, имеющими искажение обратно симметричного характера (рис. 1).

Передний фронт изменяется согласно уравнению (1), задний фронт согласно уравнению (2).

$$U_{n.ф.}(t) = U_0 \cdot (1 - e^{-\frac{t}{\tau}}) \quad (1)$$

$$U_{з.ф.}(t) = U_0 \cdot e^{-\frac{t}{\tau}} \quad (2)$$

$U_{n.ф.}$  – функция линии переднего фронта;

$U_{з.ф.}$  – функция линии заднего фронта;

$U_0$  – амплитуда однополярного сигнала;

$t$  – время;

$\tau$  – значение постоянной времени линии связи;

При дальнейших расчетах примем

$$t_0 = 3 \cdot \tau \quad (3)$$

$t_+$  – время нарастания до уровня  $U = 0.5U_0$

$t_+$  рассчитывается согласно выражению (4)

$$t_+ = -\tau \cdot \ln 0.5 \quad (4)$$

Таким образом,  $t_+$  это величина, на которую сдвинется передний фронт сигнала. Величина, на которую сдвинется задний фронт  $t_-$ :

$$t_- = -\tau \cdot \ln 0.5 \quad (5)$$

Таким образом, длительности исходного сигнала  $t_0$  и принятого сигнала  $t_0'$  равны, и, как следствие, искажения отсутствуют полностью.

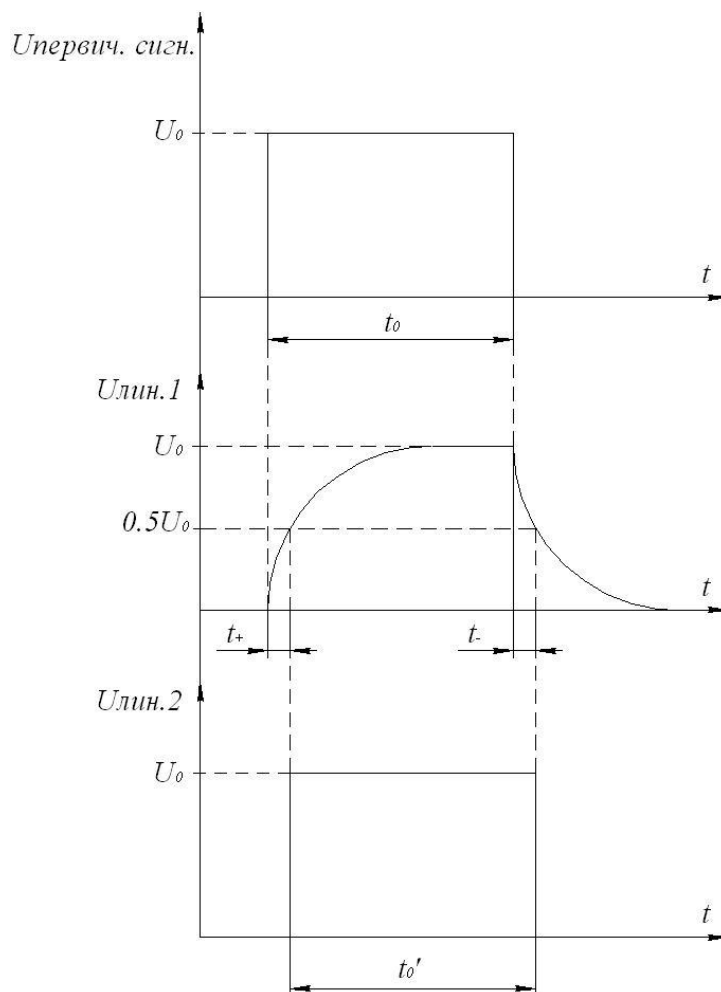


Рис. 1. Однополярный сигнал с искажениями фронтов обратного симметричного характера.

Однако в реальных каналах связи редко можно наблюдать идеальный случай, когда фронты искажены обратным симметрично.

Рассмотрим случай, когда время переднего фронта определяется экспоненциальной зависимостью, а время заднего фронта имеет бесконечно малое значение (рис. 2, а).

Передний фронт изменяется согласно выражению (7), а задний фронт согласно выражению (8).

$$U_{н.ф.}(t) = U_0 \cdot (1 - e^{-\frac{t}{\tau_2}}) \quad (7)$$

$$U_{з.ф.}(t) = 0 \quad (8)$$

В этом случае переход из  $U_0$  в 0 становится мгновенным, и искажение сигнала составит 23,1%.

Разберем второй случай, когда время переднего фронта близко к нулю, а время заднего фронта определяется экспоненциальной зависимостью (рис. 2, б).

Передний фронт сигнала нарастает мгновенно, а задний фронт уменьшается согласно уравнению (10).

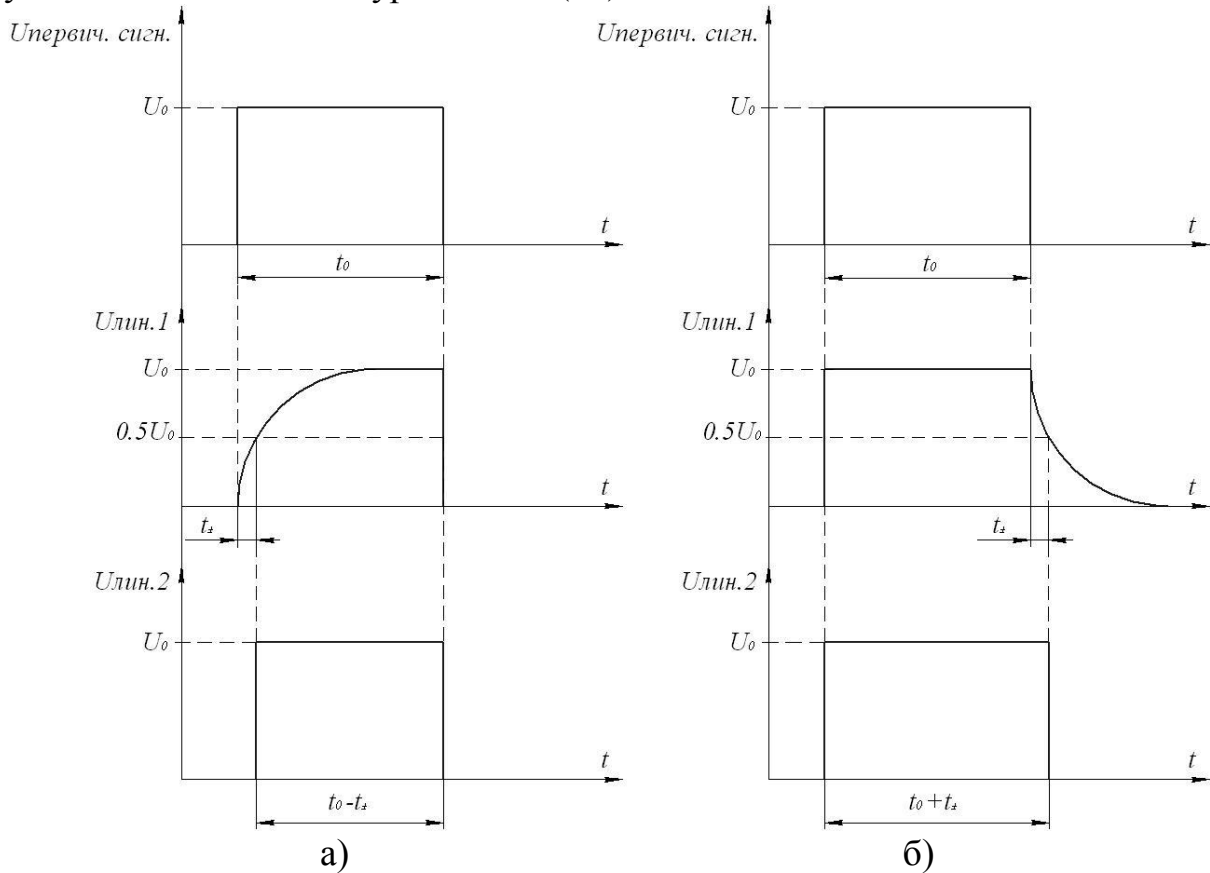


Рис. 2. Однополярный сигнал а) время переднего фронта определяется экспоненциальной зависимостью; б) время заднего фронта определяется экспоненциальной зависимостью.

$$U_{н.ф.}(t) = 0 \quad (9)$$

$$U_{з.ф.}(t) = U_0 \cdot e^{-\frac{t}{\tau_2}} \quad (10)$$

Получаем значительное удлинение первичного сигнала и искажение так же, как и в первом случае, 23,1%.

В силу того, что максимально допустимое искажение сигнала не должно превышать 4% [2], регистрировать сигналы таким образом недопустимо.

Поскольку параметры сигнала могут меняться случайно, предлагается использовать двухуровневый метод регистрации однополярных сигналов на уровнях  $U_1$  и  $U_2$  (рис. 3).

$$U_1 = U_0 \cdot (1 - e^{-0.04 \frac{3\tau}{\tau}}) = 0.113 \cdot U_0 \quad (11)$$

$$U_2 = U_0 \cdot e^{-0.04 \frac{3\tau}{\tau}} = 0.887 \cdot U_0 \quad (12)$$

Для реализации данного метода после регистрации переднего фронта необходимо введение задержки на время, пока передним фронтом не будет достигнуто значение  $U_2$ . Время этой задержки  $t_{зад}$  может быть определено из выражения (13).

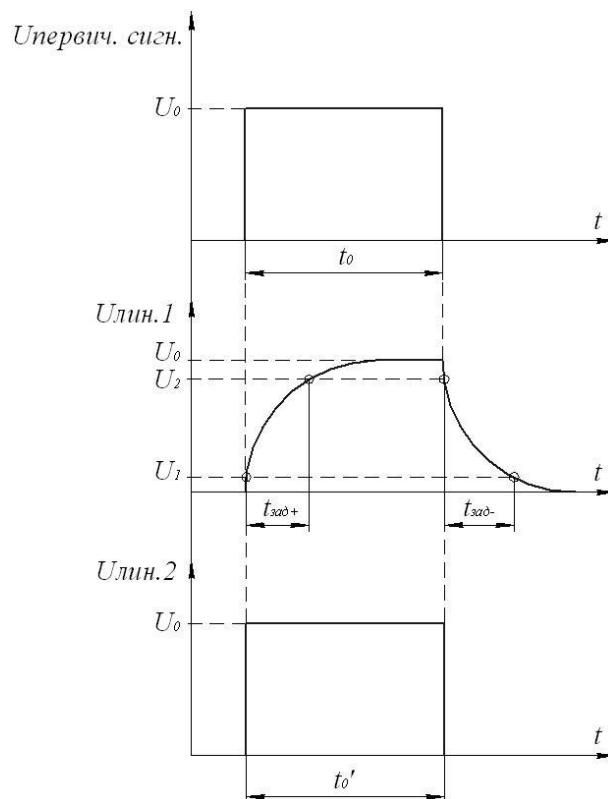


Рис. 3. Двухуровневый метод регистрации однополярных сигналов на уровнях  $U_1$  и  $U_2$ .

$$t_{зад} > 0.727 \cdot t_0 \quad (13)$$

где  $t_{зад}$  – время задержки;

$t_0$  – длительность элементарной посылки.

Один из простейших вариантов схемной реализации приведен на рис. 4.

При поступлении на вход сигнала ниже уровня  $U_1$ , на выходе формируется напряжение логического «0». Через обратную связь на элемент задержки приходит сигнал и далее идет на логический элемент НЕ, инвертируется и на ключевой элемент поступает «1». Ключевой элемент шунтирует резистор  $R_3$  и пороговое значение на компараторе становится  $U_1$ :

$$U_1 = \frac{E_{num}}{R_1 + R_2} \cdot R_2 \quad (14)$$

При нарастании сигнала и достижении уровня  $U_1$  на выход поступает «1». Через обратную связь сигнал проходит через элемент задержки. После уровень сигнала инвертируется, и пороговое значение становится  $U_2$ .

$$U_2 = \frac{E_{num}}{R_1 + R_2 + R_3} \cdot (R_2 + R_3) \quad (15)$$

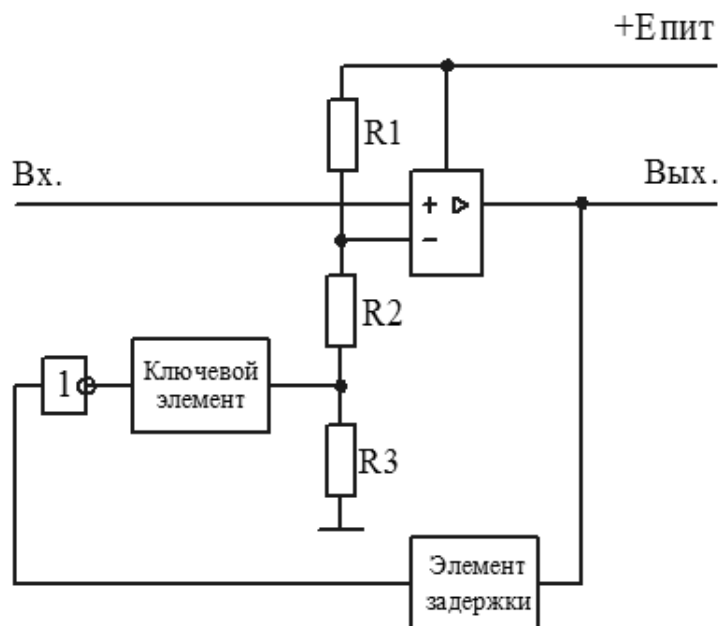


Рис. 4. Вариант схемной реализации устройства с двухуровневым методом регистрации.

Изменяя номиналы резисторов  $R_1$ ,  $R_2$  и  $R_3$ , можно устанавливать требуемые значения порогов  $U_1$  и  $U_2$ .

К недостаткам данной схемы можно отнести снижение точности регистрации импульсов при изменении амплитудных параметров и скорости передачи сигнала, при изменении амплитудных параметров требуется перестановка уровней регистрации  $U_1$  и  $U_2$ . Данные проблемные вопросы требуют своего решения.

#### Библиографический список

[1] Гришин Ю.К., Мазин А.В. Высокоточные входные устройства цифровых приемников однополярных сигналов. *Вопросы радиоэлектроники*, серия ОТ, выпуск 5, Москва, 2009.

[2] Гришин Ю.К., Мазин А.В. Исследование влияния нестабильности уровня регистрации однополярных сигналов на запас устойчивости связи терминальных средств документального обмена. *Труды VI Российской научно-технической конференции «Новые информационные технологии в системах связи и управления»*, Калуга, 2007г.

**Шаман Ирина Александровна** – студент КФ МГТУ им. Н.Э. Баумана. E-mail: nikitamolodoy@yandex.ru.

**Кашин Виталий Валерьевич** – преп. КФ МГТУ им. Н.Э. Баумана. E-mail: kvvstudio@gmail.com.

Пью Мьинт Вей, А.В. Мазин

## РАЗРАБОТКА АЛГОРИТМА РАСЧЕТА МОДУЛЯ ЮНГА ВОЛЬФРАМОВО-МЕДНЫХ ПСЕВДОСПЛАВОВ

КФ МГТУ им. Н.Э. Баумана, Калуга, 248000, Россия

Вольфрамowo-медные псевдосплавы (ВД) находят широкое применение при изготовлении корпусов силовых полупроводниковых приборов, СВЧ-транзисторов. Они обладают достаточно высокой теплопроводностью, возможностью варьирования коэффициента теплового расширения, большей жесткостью, причем эти параметры могут изменяться в зависимости от процентного состава входящих материалов и технологии изготовления псевдосплава. Поэтому при конструировании корпуса полупроводникового прибора необходим предварительный расчет характеристик ВД для выбора оптимальных сочетаний жесткости, теплопроводности и термических коэффициентов. Для создания алгоритма расчета модуля Юнга, определяющего жесткость материала, и его компьютерного расчета использовалась модель, предложенная в [1].

Рассматриваемый псевдосплав представляет собой пористую матрицу

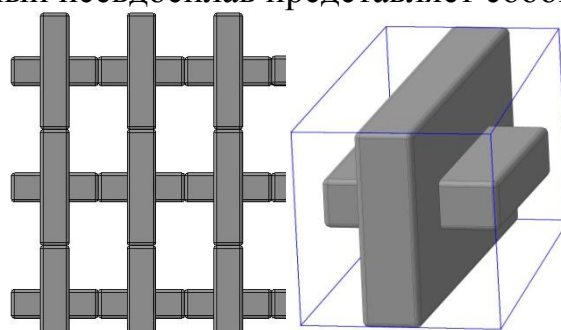


Рис.1 Сечение каркаса псевдосплава и его отдельный элемент (каркас) из вольфрама, поры в которой заполнены медью.

С небольшими допущениями структуру можно представить в виде двух взаимопроникающих матриц – вольфрамоидной и медной. На рис.1 изображено перпендикулярное сечение подобной конструкции. Условно можно выделить один элемент в виде куба, внутри которого размещен крестообразный объем, занятый материалом «А», а остальной объем – материалом «Б». На рис.2 показан отдельный элемент с нанесенными обозначениями.

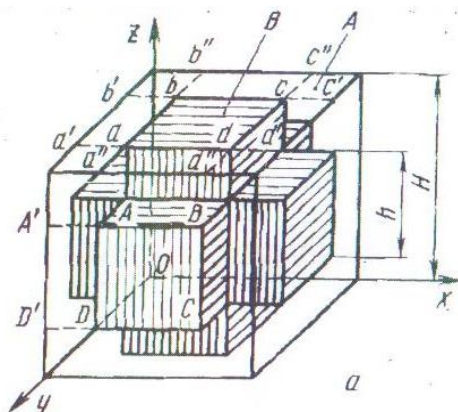


Рис.2  
Элемент конструкции псевдосплава.

Элемент рассматриваемого материала может быть представлен в виде совокупности трех слоев, изображенных на рис. 3 (слои I и III одинаковы по своей структуре). При нагружении псевдосплава эти слои деформируются совместно, т.е.  $\varepsilon_I = \varepsilon_{II} = \varepsilon_{III} = \varepsilon_k$  (здесь  $\varepsilon_I, \varepsilon_{II}, \varepsilon_{III}$  - соответственно деформации слоев I, II и III в направлении действия силы,  $\varepsilon_k$  - деформация композиции в целом). При таком нагружении модуль Юнга всего характерного элемента можно выразить через модули Юнга слоев по правилу смесей

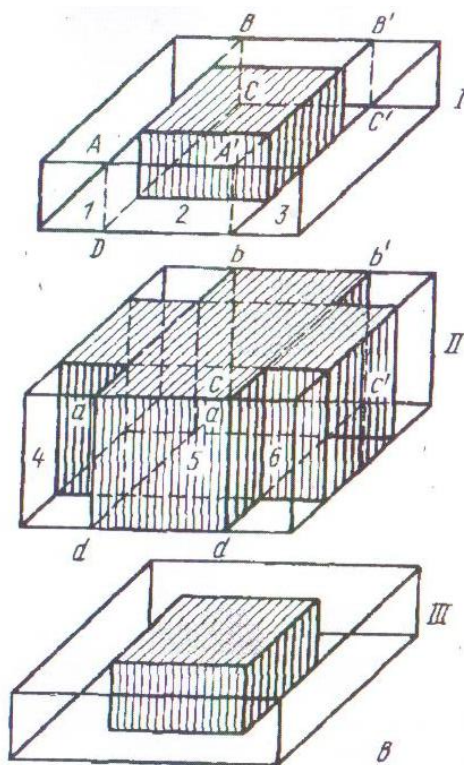


Рис. 3 Разделение элемента материала на слои.



$$E_k = E_I V_I + E_{II} V_{II} + E_{III} V_{III} = 2E_I V_I + E_{II} V_{II},$$

где  $E_I, E_{II}, E_{III}$  - эффективные модули упругости слоев I, II и III в направлении действия внешней силы;  $V_I, V_{II}, V_{III}$  - объемные доли слоев I, II и III в композиции соответственно.

Значения  $V_I, V_{II}$  легко находятся из геометрических соображений:

$$V_I = (H - h)/2H = 0,5(1 - h/H) = 0,5(1 - c); V_{II} = h/H = c;$$

$$V_{III} = V_I,$$

Откуда

$$E_k = E_I(1 - c) + E_{II}c. \quad (1)$$

Для определения  $E_I$  разобьем слой I вертикальными плоскостями  $BB'CC$  и  $AA'D'D$  на три подслоя 1, 2 и 3 (подслои 1 и 3 идентичны). Тогда по правилу смесей

$$E_I = 2E_1 V_1 + E_2 V_2, \quad (2)$$

где  $E_1$  и  $E_2$  - эффективные нормальные модули упругости подслоев 1 и 2;  $V_1$  и  $V_2$  - объемные доли подслоев 1 и 2 в слое I.

Легко установить, что  $V_1 = 0,5(1 - c)$  и  $V_2 = c$ .

Модуль  $E_1$  равен модулю упругости компонента А, т.е.  $E_1 = E_A$ . Величину  $E_2$  можно рассчитать, если мысленно разделить подслоем 2 горизонтальными сечениями на три параллелепипеда  $A'B'C'D'M'N'ICL'$ ,  $MN'K'L'MNKLI$  и  $MNKLABCD$ . Во всех этих параллелепипедах действует одинаковое напряжение  $\sigma$ , а линейная деформация подслоя 1 в направлении действия силы равна сумме деформаций этих трех параллелепипедов. Как известно, в этом случае между модулем Юнга системы  $E_2$  и модулем Юнга составляющих ее параллелепипедов существует приближенная зависимость

$$1/E_2 = V_{A2}/E_A + V_{B2}/E_B, \quad (3)$$

где  $V_{A2}, V_{B2}$  - объемные доли вещества А и В в подслое 2 соответственно;  $E_A$  и  $E_B$  - модули фаз А и В, из которых состоят параллелепипеды соответственно.

Из рис. 2 следует, что  $V_{A2} = (1 - c)$ ,  $V_{B2} = c$ , т.е.,  $1/E_2 = (1 - c)/E_A + c/E_B$ . поэтому получаем

$$E_I = E_A(1 - c) + E_A E_B c / [E_A c + E_B(1 - c)]. \quad (4)$$

Аналогичным образом проведем расчет эффективного модуля Юнга слоя II.

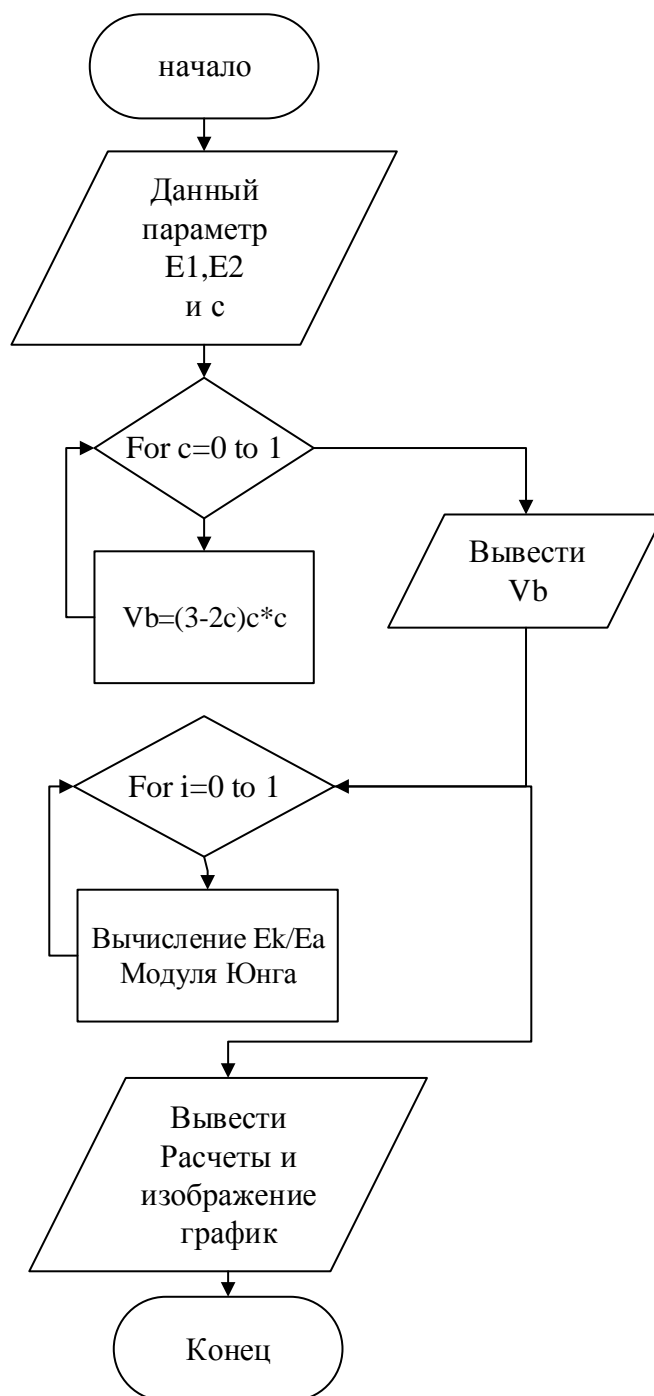


Рис.4. Алгоритм расчета модуля упругости

Итоговая зависимость, выражающая связь модуля упругости композиционного материала с каркасной структурой с модулями упругости и концентрациями составляющих

$$\frac{E_K}{E_A} = (1-c)^2 + \left(\frac{E_B}{E_A}\right)c^2 + \frac{2(E_B/E_A)c(1-c)}{c + (E_B/E_A)(1-c)}. \quad (5)$$

Алгоритм расчета модуля упругости Юнга приведен на Рис.4., а ависимости приведенного модуля Юнга псевдосплавов с каркасной структу-

рой от объемной доли компонента В, рассчитанные при  $E_A/E_B = 0.5$  приведены на рис.5.

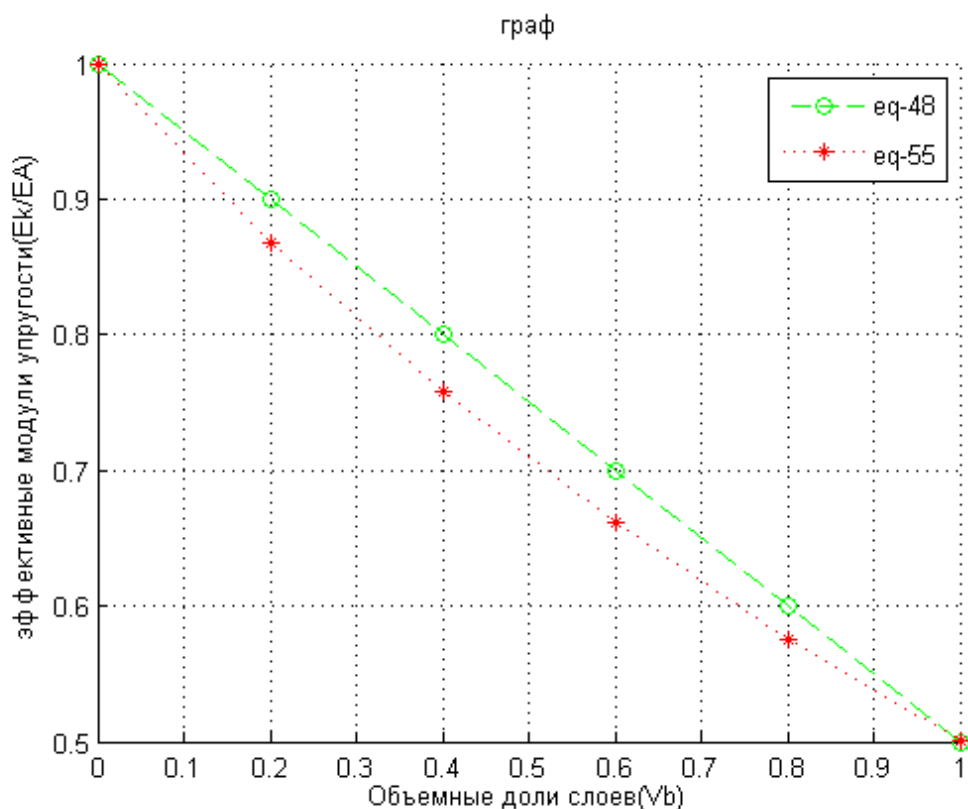


Рис. 5 Зависимости приведенного модуля Юнга псевдосплавов с каркасной структурой от объемной доли компонента В, рассчитанные при  $E_A/E_B = 0.5$ .

### Литература.

1. Тучинский Л.И. Композиционные материалы, получаемые методом пропитки., М., Metallurgy, 1986, 208с.

**Пью Мьинт Вей** – аспирант КФ МГТУ им. Н.Э. Баумана. E-mail: phyomyintwai1@gmail.com.

**Мазин Анатолий Викторович** – д-р техн. наук, заведующий кафедрой "Информационная безопасность автоматизированных систем" КФ МГТУ им. Н.Э. Баумана. E-mail: mazinav@yandex.ru.

Пью Мьинт Вей, Г.В. Прасицкий

## РАЗРАБОТКА СПОСОБА ИЗГОТОВЛЕНИЯ ВОЛЬФРАМО-МЕДНОГО ПСЕВДОСПЛАВА

КФ МГТУ им. Н.Э. Баумана, Калуга, 248000, Россия

В зависимости от характеристик исходных материалов и технологических процессов изготовления псевдосплавы, получаемые методом пропитки могут иметь каркасную или матричную структуры, обеспечивающие им разные свойства .

Если изготавливать псевдосплав методом жидкофазного спекания, то получится матричная структура: в легкоплавкой фазе в виде включений внедрены частицы тугоплавкой фазы.

Для получения каркасной структуры вначале спекается заготовка из тугоплавкой фазы, которая затем пропитывается расплавом легкоплавкой фазы. При этом возникает возможность изменять электрические и механические свойства материала варьируя количество и состав исходных компонентов. Если требуется получение прочного материала с большей жесткостью, следует применять каркасную структуру с сильными связями между частицами тугоплавкого материала, особенно, если предполагается использование или обработка с применением высоких температур.

Основными характеристиками пористого каркаса наряду с механическими свойствами являются общая пористость, наличие закрытых пор, форма поровых каналов – все, что облегчает или усложняет течение жидкого пропитывающего состава. Схема технологического процесса изготовления каркасного псевдосплава вольфрам – медь приведена на рис.1.

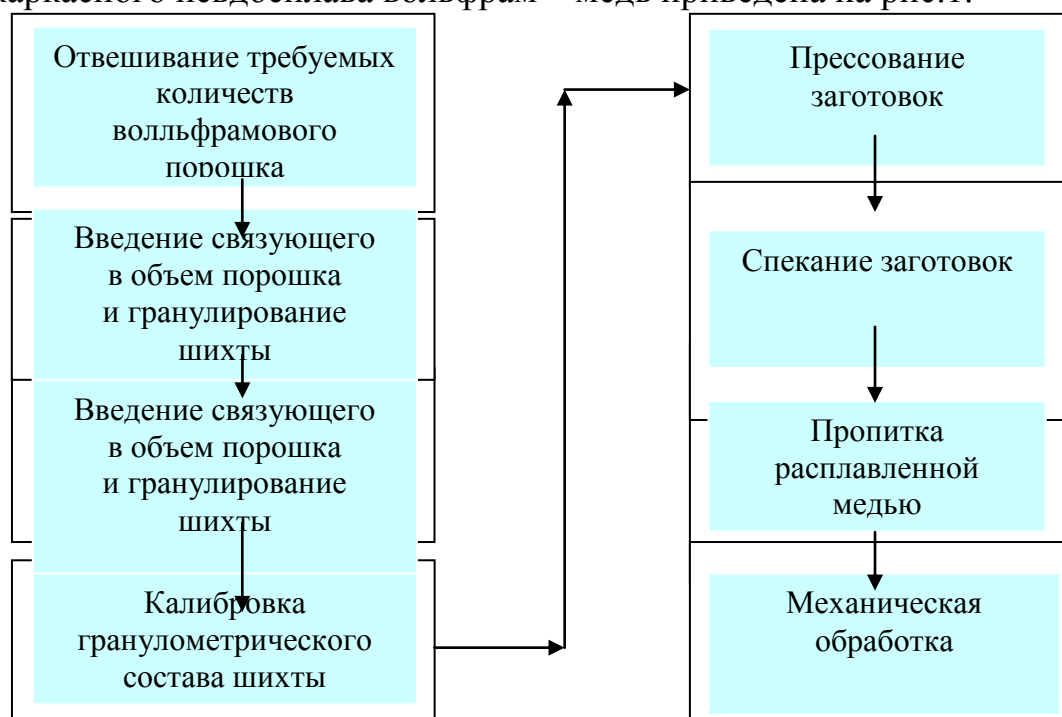


Рис.1 Схема технологического процесса изготовления каркасного псевдосплава вольфрам – медь

Процесс является достаточно отработанным, однако в нем имеется ряд тонкостей. Первая из них – спекания вольфрамовой заготовки, которое, как правило, должно происходить при температуре на уровне 0,9 температуры плавления вольфрама. Учитывая, что эта температура превышает 3000К, наличие оборудования, способного ее обеспечить в серийном производстве псевдосплавов практически нереально. Поэтому приходится идти на технологические ухищрения, например, вводить в состав вольфрамовой шихты никель, активирующий процесс спекания и позволяющий снизить температуру до уровня 1500К. Для этого производится совместное восстановление в водороде предварительно смешанных порошков оксида вольфрама и карбоната никеля [1]. Количество никеля в составе смеси после восстановления находится на уровне 1-5%. Считается, что при этом на каждом зерне вольфрама образуется оболочка из твердого раствора вольфрама в никеле. Взаимная растворимость никеля и меди при последующей пропитке облегчает процесс.

Однако технологически это невыгодно, поскольку требует больших затрат и применения специального оборудования у изготовителей псевдосплавов. Введение в исходную смесь никеля в таком же количестве путем механического смешивания не приводит к положительным результатам, поскольку значительный размер частиц металлического никеля не позволяет осуществить из равномерное распределение в объеме смеси [2].

Кроме того, значительное количество никеля в меди приводит к снижению ее теплопроводности – одного из основных параметров псевдосплавов: 5% весовых никеля в меди снижают ее теплопроводность в два раза. Поэтому нами была разработана технологическая схема, позволяющая устранить перечисленные недостатки.

Для этого путем прокаливания азотнокислого никеля в кислородосодержащей среде он переводился в окисел. Измерения показали, что активная поверхность получившегося окисла почти на порядок превышает активную поверхность карбонильного никеля, что свидетельствует о высокой дисперсности частиц окисла. Эксперименты по смешиванию полученного оксида никеля с вольфрамовым порошком и последующему спеканию брикетированных заготовок показали, что даже при добавлении 0,2% оксида обеспечивалась равномерная структура спеченного каркаса.

На серийном оборудовании удалось получить с плотностью на уровне 99,95% псевдосплав вольфрам-медь с долей меди от 5 до 30 массовых процентов. При этом теплопроводность материала ВД30, изготовленного по предложенному способу, возросла на 20% по сравнению с серийно выпускаемым.

### **Литература.**

1. Тучинский Л.И. Композиционные материалы, получаемые методом пропитки., М., Металлургия, 1986, 208с.
2. Левченко Г.В. Металломатричные контакты с повышенной отключающей способностью. Дисс. К.Т.Н., Киев., 1964г.

**Пью Мьинт Вей** – аспирант КФ МГТУ им. Н.Э. Баумана. E-mail: phyomyintwai1@gmail.com.

Ньейн Чан

## СПОСОБ УВЕЛИЧЕНИЯ ДОЛГОВЕЧНОСТИ ГЕЛИЙ-НЕОНОВОГО ЛАЗЕРА

КФ МГТУ им. Н.Э. Баумана, Калуга, 248000, Россия

Гелий-неоновый лазер является отпаянным прибором, содержащим ограниченное количество рабочей газовой смеси. В процессе эксплуатации лазера высокоэнергетичные частицы (быстрые атомы и ионы газа) постепенно разрушают поверхность холодного катода. Попавшие в разрядный объем, частицы материала катода осаждаются на элементах конструкции лазера, замуровывая атомы газа. Происходит так называемый процесс «жестчения» - снижение давления газовой смеси. В результате падает мощность излучения, изменяются электрические характеристики разряда и, в конечном итоге, прибор теряет работоспособность.

Рассмотренный процесс может быть в некоторой степени нейтрализован, если распыленные с катода частицы не попадут в разрядный объем, а осядут обратно на поверхность катода. Достигнуто это может быть при организации определенного микрорельефа на эмиссионной поверхности катода, например, созданием кратерообразных углублений.

В этом случае часть распыленных атомов материала катода будет покидать одну сторону углубления и оседать на другой (Рис.1). При этом они не выходят за пределы полости углубления, т.е. общее распыление материала углубления оказывается меньшим, чем такого же гладкого участка поверхности катода [1].

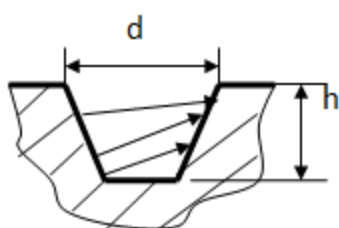


Рис.1. Схема углубления

Стрелки – возможные траектории распыленных частиц.

Количественно уменьшение коэффициента распыления углубления можно рассчитать в соответствии с выражением:

$$\frac{dY}{d\Omega} = \frac{Y(E)}{\pi} \cos \psi ,$$

где  $Y(E)$  - коэффициент распыления материала катода ионами газа;

$d\Omega$  - элемент телесного угла;

$\psi$  - угол между нормалью к поверхности и направлением вылета распыленных атомов.

Усредняя по всей площади углубления, получим выражение для доли распыленных частиц, покидающих углубление:

$$\delta = 1 - \beta \cdot \ln \left[ (1 - \sqrt{1 - 4\beta}) \cdot \frac{1}{2} \right],$$

где  $\beta = 4h^2/d^2$ ;

$h$  и  $d$  - глубина и диаметр углубления, соответственно.

Из полученной зависимости следует, что при  $d/h=1$   $\delta=0.25$ , а при  $d/h=2$   $\delta=0.52$ . Если  $\alpha$ -доля поверхности катода, занятая углублениями, то ее коэффициент распыления, как следует из геометрических соображений, меньше, чем у гладкого в  $[1-\alpha(1-\delta)-1]$  раз.

Для практической реализации подобного способа применительно к катодам, изготовленным из бериллия, был проведен ряд работ с применением методов химической и электрохимической обработки [2].

При изготовлении катодов из алюминиевых сплавов, например материала АД, в поверхностном слое образуются трещины, участки с пластической деформацией. Характерные размеры деформированных участков могут достигать 0,05-0,1мм [2]. Образование зародышей травления происходит вследствие повышенного уровня свободной энергии вблизи нерегулярностей структуры материала. Поэтому воздействию травителя в первую очередь выявляются именно эти дефектные участки [2].

В связи с этим прогнозировалась возможность получения близкого к требуемому микрорельефа на поверхности катода при использовании методов химической и электрохимической обработки.

Анализ результатов проведенных экспериментов показал, что оптимальным технологическим процессом является химическое травление поверхности. В качестве травителя для создания микрорельефа наиболее пригодной оказалась разбавленная до 30-40% щелочь NaOH, нагретая до температуры 60-70 градусов Цельсия. Однако после травления в щелочи в микрорельефе присутствует много острых граней. Поэтому для сглаживания потребовалась последующая полировка в смеси реактивов. Разработанная технология обработки поверхности исходной катодной заготовки выглядит следующим образом:

- обезжиривание кипячением в трихлорэтилене в течение 10-15 минут;
- травление в сорокапроцентном растворе щелочи при 330К в течение 30 секунд;
- травление в растворе смеси  $H_2SO_4$  и  $H_3PO_4$  при температуре 350К в течение 120 секунд;
- промывка в проточной деионизованной воде в течение 5 минут;
- обезвоживание в ацетоне в течение 2 минут.

В результате проведения технологического процесса на поверхности образуются углубления с характерными размерами на уровне 3-5 микрометров.

На рис. 2 приведена фотография поверхности катода, полученная в темном поле на металлографическом микроскопе при увеличении  $270^{\times}$ .

Доля поверхности, занятой углублениями, составляет около 70%.

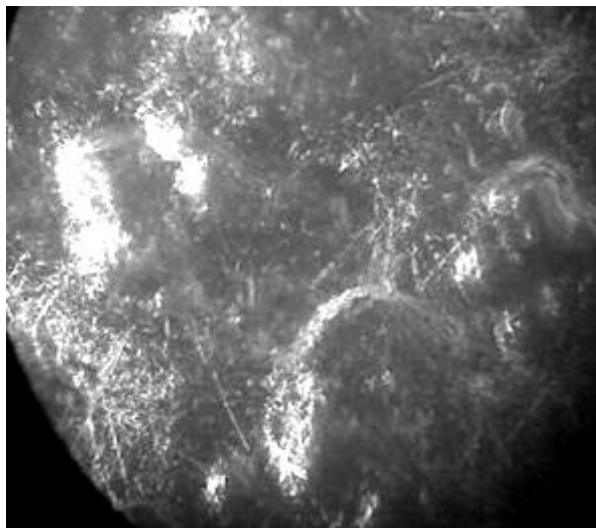


Рис. 2

Поверхность катода после проведения операций по формированию микро-рельефа

#### Литература.

1. Распыление ионным пучком поверхности с углублениями цилиндрической формы / Коржавый А.П., Кристя В.И., Лищук Н.В., Прасицкий В.В. // Тезисы докладов Всесоюзного совещания-семинара “Диагностика поверхности ионными пучками”.-Одесса, изд.МАИ, 1990.- С.100-101.

2. Беккерт В. Справочник по металлографическому травлению.- М.: Металлургия, 1979.-96с.

**Ньейн Чан** – аспирант КФ МГТУ им. Н.Э. Баумана. E-mail: nyinechan84@gmail.com.



Е.А. Коваленко, О.С. Ключко

## **СРАВНИТЕЛЬНЫЙ АНАЛИЗ СИСТЕМ КОМПЬЮТЕРНОЙ АЛГЕБРЫ**

КФ МГТУ им. Н.Э. Баумана, Калуга, 248000, Россия

Обработка числовых данных с помощью компьютера позволяет производить сложные расчеты за короткое время и обеспечить при этом высокую точность и надежность вычислений. Большинство математических систем, используемых при работе с компьютерами, являются системами для выполнения численных расчетов. Однако, бывают случаи, когда характер самой задачи не даёт возможности решить её численными методами, т.е. возникает необходимость получить решение задачи в символьном (аналитическом) виде. Кроме того, очень часто даже самая мизерная ошибка вычислений сильно искажает результат. Для решения подобных используют символьную компьютерную математику и символьные математические системы. В настоящее время наиболее известными и приспособленными для математических символьных вычислений считаются Maple, MathCad, Mathematica и MatLab.

MatLab обладает хорошо развитыми возможностями визуализации двумерных и трехмерных данных. Простота языка компенсируется огромным множеством функций MatLab. Среди областей математики, в которых применимы функциональные возможности пакета MatLab можно выделить следующие: матрицы линейная алгебра; многочлены интерполяция; математическая статистика и анализ данных; обработка данных — набор специальных функций; дифференциальные уравнения; разреженные матрицы; целочисленная арифметика.

Среди возможностей пакета Mathcad можно выделить: решение дифференциальных уравнений, в том числе и численными методами; построение двумерных и трёхмерных графиков функций; использование греческого алфавита как в уравнениях, так и в тексте; выполнение вычислений в символьном режиме; выполнение операций с векторами и матрицами; символьное решение систем уравнений; аппроксимация кривых; выполнение подпрограмм; поиск корней многочленов и функций; проведение статистических расчётов и работа с распределением вероятностей; поиск собственных чисел и векторов; вычисления с единицами измерения; интеграция с САПР-системами, использование результатов вычислений в качестве управляющих параметров.

Наиболее часто Mathcad сравнивают с такими программными комплексами, как Maple, Mathematica, MatLab, а также с их аналогами. Впрочем, объективное сравнение осложняется в связи с разным назначением программ и идеологией их использования. Система Maple, например,

предназначена главным образом для выполнения аналитических (символьных) вычислений и имеет для этого один из самых мощных в своем классе арсенал специализированных процедур и функций (более 3000). Такая комплектация для большинства пользователей, которые сталкиваются с необходимостью выполнения математических расчетов среднего уровня сложности, является избыточной.

Возможности Maple ориентированы на пользователей — профессиональных математиков; решения задач в среде Maple требуют не только умения оперировать какой-либо функцией, но и знания методов решения, в неё заложенных: во многих встроенных функциях Maple фигурирует аргумент, задающий метод решения.

То же самое можно сказать и о Mathematica. Это одна из самых мощных систем, имеет чрезвычайно большую функциональную наполненность (есть даже синтезирование звука). Mathematica обладает высокой скоростью вычислений, но требует изучения довольно необычного языка программирования.

Возможности пакета Mathematica: решение рекуррентных уравнений; упрощение выражения; нахождение пределов; интегрирование и дифференцирование функций; нахождение конечных и бесконечных сумм и произведений; решение дифференциальных уравнений и уравнений в частных производных; преобразования Фурье и Лапласа; преобразование функции в ряд Тейлора; расчёт вероятностей.

Современный математический пакет Mathematica является мощным средством выполнения и оформления математических исследований как в символьной, так и в численной форме.

Ниже приведена таблица, в которой отражены достоинства и недостатки каждой из математических программ, выявленные в ходе сравнительного анализа.

Таблица 1

Достоинства и недостатки систем компьютерной алгебры

	Достоинства	Недостатки
MatLab	Возможность решать технические вычислительные задачи гораздо быстрее, чем с помощью традиционных языков программирования; обладает хорошо развитыми возможностями визуализации двумерных и трехмерных данных; проверка результатов в режиме реального времени.	Невысокая интегрированность среды; затруднительная установка программы; высокая стоимость; применение в основном для численных расчетов.

Maple	Наличие развитых графических средств; высокая точность вычислений; наличие собственного языка программирования.	Многие функции и операторы, ввошедшие в этот пакет еще до ввода инструментов работы с единицами измерений, не совсем корректно работают с размерными аргументами и операндами.
MathCad	Запись сложных математических выражений в том виде, в котором они обычно записываются на листе бумаги; простота в использовании; проведение численных и аналитических математических расчетов; возможность создания встроенными средствами высококачественных технических отчетов с таблицами, графиками, текстом в виде печатных документов; подготовка Web-страниц и публикация результатов в Интернете; ввод исходных данных и вывод результатов в текстовые файлы или файлы с базами данных в других форматах; легкость и наглядность программирования задач; получение различной справочной информации из области математики.	Применение в основном для численных расчетов; многие функции и операторы, ввошедшие в этот пакет еще до ввода инструментов работы с единицами измерений, не совсем корректно работают с размерными аргументами и операндами; медленный процесс вычислений.
Mathematica	высокая скорость вычислений; большая функциональная наполненность; Наличие встроенного языка программирования и мощных графических возможностей; выходной документ может быть подготовлен совместно с MS Word, MS Excel и т.д.	Нестандартная входная и неудобная выходная математическая символика; неадекватное представление результатов многих операций; слабая диагностика ошибок; требование серьезных трудозатрат на освоение; малое число описанных в системе пакета практических примеров применения того или иного оператора или функции.

В результате проведенного анализа можно сделать следующий вывод: современные математические пакеты можно использовать и как обычный калькулятор, и как средства для упрощения выражений при решении каких-либо задач, и как генератор графики или даже звука. Также нельзя не отметить удобство использования пакетов без применения программирования.

### Список литературы

1. Б. Акишин, Н. Эркенов. Прикладные математические пакеты. 2009
2. [http://www.life-prog.ru/1\\_18551\\_obzor-nekotorih-matematicheskikh-paketov.html](http://www.life-prog.ru/1_18551_obzor-nekotorih-matematicheskikh-paketov.html)
3. <http://compress.ru/article.aspx?id=16152>
4. Дьяконов В.П., Круглов В.В. Математические пакеты расширения MATLAB: Специальный справочник. 2001
5. <http://itnovella.ru/itnovella/2013/10/21/revnumpysci.py.html>

**Коваленко Елизавета Александровна** – студент КФ МГТУ им. Н.Э. Баумана. E-mail: [www.yoursmile@yandex.ru](mailto:www.yoursmile@yandex.ru).

**Клочко Ольга Сергеевна** – ассистент кафедры «Информационная безопасность автоматизированных систем» КФ МГТУ им. Н.Э. Баумана. E-mail: [klochkoolgakaluga@gmail.com](mailto:klochkoolgakaluga@gmail.com).

Н.А. Гаврикова

## **СРЕДСТВА ПОЛУЧЕНИЯ ЭКОЛОГИЧЕСКОЙ ИНФОРМАЦИИ ДЛЯ ПРЕДПРИЯТИЙ КАЛУЖСКОЙ ОБЛАСТИ**

КФ МГТУ им. Н.Э. Баумана, Калуга, 248000, Россия

В условиях формирования рыночной модели хозяйствования региональные органы власти стали проявлять значительную активность в улучшении инвестиционного климата.

Сегодня Калужская область является одним из лидеров экономического развития и по праву названа самым успешным регионом по привлечению инвестиций, приток которых ежегодно в среднем составляет около миллиарда долларов.

В настоящее время автомобилестроение стало принципиально новой и быстро развивающейся отраслью для Калужского региона. Калужский автокластер по производству автомобилей и автокомпонентов объединяет двадцать восемь предприятий и на сегодняшний день занимает третье место по производственным мощностям после Тольятти и Санкт-Петербурга.

Предприятия автокластера концентрируются на территории трех из шести действующих в Калужской области индустриальных парков «Габцево», «Калуга-Юг», «Индустриальный парк РОСВА» общей площадью 1370 га.

Калужская область обладает уникальным научным потенциалом, перед ней поставлена задача, построить эффективный инновационный процесс, трансформировать научные разработки в рыночный продукт. На территории области уже формируются кластер сельскохозяйственного машиностроения и фармацевтический.

Однако, необходимо понимать, что стабильное развитие предполагает возможности роста объектов промышленного производства, повышение жизненного уровня людей только при одновременном сохранении и качественном улучшении окружающей среды.

Проблема экологии в России, сегодня является одной из значительных экономических и социальных проблем, поскольку касается практически каждого человека.

На сегодня в ряде регионов антропогенные нагрузки давно превысили установленные нормативы, и сложилась критическая ситуация, при которой возникают значительные изменения ландшафтов, происходит истощение и утрата природных ресурсов, значительно ухудшаются условия проживания населения. К числу таких регионов относятся крупнейшие города и промышленные центры, которые оказывают негативное влияние на экологическое состояние соседних регионов [1].

Не исключение и Калужская область. Ежегодно в результате основной хозяйственной деятельности предприятий автокластера образуется около 60 отходов различных классов опасности, которые требуют особых усло-

вий накопления и последующей утилизации специализированными организациями, имеющими соответствующие лицензии.

В последнее время немало предприятий активизировали действия по оценке соответствия своих экологических характеристик нормативным требованиям, прежде всего, в отношении соблюдения нормативов прямого и (или) косвенного воздействия на окружающую среду, предельно допустимых концентраций загрязняющих веществ и уровней шума, излучения, вибрации и т.п., а также требований к технологическим процессам и выпускаемой продукции или производимым работам. Анализ соответствия деятельности экономического субъекта указанным выше критериям является одним из основных направлений промышленной экологической культуры [2].

Автоматизация процесса движения материалов и сырья от начального этапа производства до утилизации образующихся в результате отходов с учетом их специфики может выступать в качестве средства получения экологической информации о предприятии или ином хозяйственном объекте, чьи технологические процессы сопровождаются образованием отходов различных классов опасности, и ее последующей оценки, а также выявление направлений совершенствования законодательства в области экологии.

Кроме того, в целом это создает возможности для анализа рациональности размещения промышленных предприятий, входящих в состав Калужского автокластера, в регионе и определения их структуры с позиций экологической безопасности в условиях возрастающего масштаба и концентрации производства, позволяет изучить взаимовлияние предприятий на территории одного индустриального парка, а также смежных парков, с учетом состояния энергетики, транспортных коммуникаций, финансового положения ключевых предприятий в регионе.

Автоматизация позволяет системно подойти к решению вопросов безопасности региона с учетом совокупного воздействия предприятий на окружающую среду, рассмотреть способы производства на предмет возможного отказа от применения ряда факторов без снижения эффективности производства, а также позволяет провести межведомственный анализ с целью выдачи рекомендаций по проведению мероприятий, способствующих снижению негативного воздействия на окружающую среду.

#### **Литература:**

1. Экологический аудит. Теория и практика : учебник /И. М. Потравный, Е. Н. Петрова, А. Ю. Вега и др. ; под ред. И. М.Потравного. -М. : Юнити-Дана, 2013. -583 с.

2. Промышленная экология: учебник/Т.Е. Гредел, Б.Р.Алленби. – М.: Юнити-Дана, 2012. – 527 с.

**Гаврикова Наталья Алексеевна** – специалист, ЗАО ОНПЭЦ «Регион-Центр-Экология». E-mail: natasha-ecology@yandex.ru.

А.А. Кухарева

## СТЕГАНОГРАФИЯ И ДЕСТЕГАНОГРАФИЯ. ОБЗОР

В современном обществе все большую ценность приобретает скрытие конфиденциальной информации. Существует много методов закрытия информации в сообщении. Но существуют и способы сокрытия самого факта передачи информации. Одним из них является стеганография.

Стеганография — это наука о скрытой передаче информации путём сохранения в тайне самого факта передачи.

Существует множество программ, реализующих стеганографические алгоритмы. Рассмотрим два программных продукта такого типа: программа OpenPuff 4.0 и плагин для Adobe Photoshop – Digimarc.

**OpenPuff.** OpenPuff 4.0 – профессиональный инструмент для стеганографии, с помощью которого владельцы персональных компьютеров могут обеспечить своей конфиденциальной информации надежную защиту. Он обладает следующими особенностями:

- скрытые данные (до 256 МБ) распределены между цепочкой файлов;
- данные шифруются с использованием трех 256-битный ключевых фраз;
- двойная стеганография позволяет отрицать тот факт, что будут скрыты действительно важные данные.

По запросу пользователя OpenPuff разбивает требуемый файл на фрагменты, зашифровывает данные и распределяет их по файлам-контейнерам. Если посторонний пользователь решит изучить содержимое диска или портативного носителя, то он не увидит ничего, кроме обычных видеороликов, аудиофайлов и другого безобидного контента. Программа поддерживает широкий спектр распространенных форматов (BMP, JPG, PNG, MP3, WAV, MP4, MPG, FLV, SWF, PDF и многие другие).

По умолчанию программа требует использовать три разных пароля длиной не менее 8 символов. При необходимости можно ограничиться единственным паролем.

Для хранения одного мегабайта секретной информации потребуется файл-контейнер размером около 5 мегабайт. Если содержимое конфиденциального файла хранится в нескольких контейнерах, то их порядок необходимо запоминать. В противном случае последующее восстановление информации окажется невозможным.

При разработке данного пакета основное внимание было уделено организации максимально эффективной защиты, но тем не менее работа с OpenPuff удобна и понятна для большинства пользователей.

Приложение работает под управлением операционной системы Windows 7, Vista и XP (32-битные и 64-битные версии).

**Digimarc.** Digimarc – плагин к редактору Adobe Photoshop, позволяющий встроить в изображение информацию об авторе. Водяной

знак Digimarc включает в изображение информацию об авторских правах, контактную информацию, а также параметры изображения. В результате нанесения водяных знаков незначительно изменяется яркость пикселей изображения. Эти изменения проявляются лишь при многократном увеличении изображения. Редактирование, печать и сканирование никак не сказываются на водяных знаках.

Водяные знаки Digimarc не обеспечивают защиту от несанкционированного использования изображений и нарушения авторских прав. Однако наличие водяных знаков на изображении указывает на то, что оно защищено авторским правом. Водяные знаки также содержат контактную информацию для тех, кто заинтересован в получении лицензии или права на использование изображения.

В противоположность стеганографии существуют методы для выявления сообщений, скрытых в изображениях, аудио- и видеофайлах. Простые методы дестеганографии заключаются в следующем. На первом этапе проводится поиск мест возможных закладок инородной информации, которые допускает формат файла-контейнера. Далее данные извлекаются из этих мест и их свойства анализируются на соответствие стандартным значениям. Для решения первой задачи достаточно внимательно изучить спецификации используемых форматов файлов, а вторая задача решается методами статистического анализа.

Алгоритмы дестеганографии также могут быть реализованы программно. Рассмотрим некоторые из таких программ:

**Stegdetect.** Программа Stegdetect достаточно эффективна против большого числа стеганографических программ: JSTEG, JPHS, Gifshuffle, Hide-and-Seek, Steganos. Данный программный продукт проводит проверку самых доступных хранилищ, таких как поля-комментарии и поля расширений различных форматов файлов, наличие искусственно созданных изображений, а также изображений с большим количеством участков однотипной заливки. Программа сравнивает частоту распределения цветов для возможного носителя скрытой информации и теоретически ожидаемую частоту распределения цветов для файла-носителя скрытой информации. Такой подход не является быстрым, но он достаточно эффективен при появлении подозрений насчет противоправной деятельности.

**FTK Imager.** Программа **FTK Imager** позволяет быстро создать образ жесткого диска для последующего изучения, а также просмотреть файлы MS Office, архивов или изображений. Предусмотрена функция выбора форматов для рассмотрения. Анализ данных осуществляется благодаря встроенной в программу базе контрольных сумм (есть возможность импортировать извне) – все файлы, содержащие в себе вложения или дополнительные изменения, будут сразу же отображены. Как известно, ещё не удалось создать файл-контейнер, который не изменил бы свой размер, приняв стего-файл. Дублированные, архивированные, шифрованные, фай-



лы с неверным расширением и т.д. выводятся отдельно для последующего изучения. Возможны любые манипуляции с вложениями, а также максимум информации, которую только можно получить из проверяемого файла. К достоинствам программы относится понятный интерфейс и информативность. Основной недостаток - высокая цена.

**Stego Suite.** Это автоматический программный сканер, содержащий 9 стеганографических алгоритмов детектирования, рассчитанных на все общие типы файлов цифрового изображения и аудиофайлов. Данный программный продукт состоит из модулей. **Stego Analyst** – модуль визуального аналитического пакета для всестороннего анализа цифровых изображений и аудио файлов; **Stego Break** – инструмент взлома стеганографической защиты.

Наиболее эффективен рассматриваемый пакет для обнаружения и уничтожения информации, скрытой с помощью алгоритма LSB (наименее значащих бит). **Stego Suite** изменяет младшие разряды каждого байта мультимедиафайла на нулевой бит. При этом качество изображения или звука не изменяется.

#### Список литературы

1. Стеганография. SecurityLab. <http://www.securitylab.ru/software/1312>
2. Обратная сторона стеганографии. Хакер. <http://hacker.ru/37769>

**Кухарева Анна Александровна** – студент КФ МГТУ им. Н.Э. Баумана. E-mail: [ann.kuh2014@yandex.ru](mailto:ann.kuh2014@yandex.ru).

Ньейн Чан, А.В. Мазин

## УВЕЛИЧЕНИЕ СРОКА СЛУЖБЫ ПЛЕНОЧНОГО ХОЛОДНОГО КАТОДА ГЕЛИЙ-НЕОНОВОГО ЛАЗЕРА

КФ МГТУ им. Н.Э. Баумана, Калуга, 248000, Россия

Пленочные катоды являются разновидностью холодных катодов, используемых для эмиссии электронов в разрядный промежуток гелий-неоновых лазеров. Они обладают рядом преимуществ перед катодами из компактных материалов: незначительной массой, низкой материалоемкостью, возможностью встраивания в малогабаритный корпус моноблочного лазера без увеличения его габаритов. Незначительная масса пленочных катодов обеспечивает их особо успешное применение в приборах, рассчитанных на эксплуатацию в условиях больших динамических нагрузок.

С другой стороны, изготовление пленочных катодов, совмещенных с корпусом моноблочного лазера, требует наличия вакуумного напылительного оборудования, что усложняет процесс изготовления, а толщина напыленного слоя, составляющего единицы микрометров, не позволяет реализовать на эмиссионной поверхности требуемый микрорельеф. Нами была предпринята попытка устранить часть недостатков пленочных катодов, совмещенных с корпусом лазера, а именно - обеспечить возможность создания микрорельефной эмиссионной поверхности. При этом углубления должны быть решены две задачи: уменьшение количества распыленного материала катода в область разряда и исключение возможности фокусировки быстрых ионов на выступающей части микрорельефа поверхности катода.

При наличии на катоде углублений с некоторыми размерами электрическое поле перестает быть однородным вдоль его поверхности. На участках между углублениями происходит сгущение силовых линий электрического поля, что может приводить к фокусировке ионов на эти участки. Неоднородность поля имеет заметную величину лишь на расстояниях от катода, сравнимых с размером неоднородности  $L$  [1]. Если ион, движущийся к катоду, имеет длину перезарядки  $\lambda$ , нормальная к катоду составляющая поля всюду равна  $E$ , а касательная отлична от нуля и равна  $E$  на расстояниях от катода, меньших  $L$ , то решая уравнение движения иона, образовавшегося на расстоянии  $\lambda$  от катода в указанном поле, получим:

$$\frac{\Delta L}{L} \cong \frac{L}{\lambda},$$

где  $\Delta L$  - смещение иона вдоль катода под действием касательной составляющей электрического поля. Следовательно, неоднородность потока пропорциональна, и их фокусировка отсутствует при  $L/\lambda \ll 1$ .

При взаимодействии быстрых частиц (ионов) с поверхностью твердого тела протекает каскад упругих бинарных столкновений, основным результатом которых является передача атомам мишени энергии и импульса. Если переданная атому энергия превышает энергию связи его с остальными, то атом может покинуть поверхность и перейти в газовую фазу. При этом температура мишени значительно ниже температуры испарения материала, из которого она изготовлена. Так как столкновения атомов имеют упругий характер, то для такой системы выполняются закон сохранения импульса и кинетической энергии. Тогда, в случае взаимодействия иона с неподвижным атомом подложки, представленном на рисунке 1, можно рассчитать величину энергии, передаваемую атому ионом с энергией  $E_i$ :

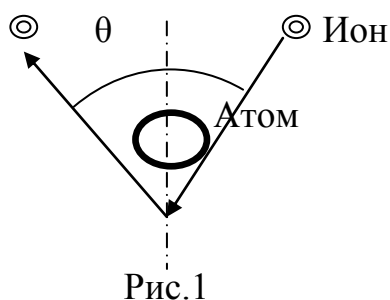


Рис.1  
Схема взаимодействия иона с атомом

$$E_a = 4 (M_i \cdot M_a) (M_i + M_a)^{-2} \cdot \cos^2(0,5\theta) \cdot E_i$$

где  $M_i$ ,  $M_a$  – масса иона и атома соответственно,  $\theta$  – угол рассеяния.

Исходя из этого соотношения, понятно, что условие эффективной передачи энергии – равенство масс иона и атома. Кроме того, характерное давление газовой смеси гелий-неоновых лазеров составляет порядка 400 Па, а отношение парциальных давлений гелия и неона около 10:1. Длина перезарядки гелия  $\lambda_{He} \sim 0.05$  мм, а неона -  $\lambda_{Ne} \sim 0.5$  мм. Это означает, что энергия ионов неона на порядок больше энергии ионов гелия, и неон вносит определяющий вклад в распыление материала катода, тем более при учете в разности масс атомов гелия и неона..

В соответствии со сказанным, для оптимальной работы катода необходимо, чтобы неона не подвергались фокусировке. Поскольку возмущения поля, обусловленные углублениями, практически отсутствуют на расстояниях от катода, превышающих  $4L$ , условие выполняется при  $4L/\lambda_{Ne} \ll 1$ .

Исходя из условий реальной эксплуатации катодов и определенных границ следует, что распыление будет минимальным, если  $L$  не превышает 20 мкм.

Для создания микрорельефа была предложена и опробована следующая схема:

- в ситалловой подложке моноблочного лазера фрезеровалось цилиндрическое отверстие с размерами, соответствовавшими размерам будущего пленочного катода;

- внутренняя поверхность цилиндра обрабатывалась до получения оптического уровня шероховатости;

- на подготовленную и очищенную поверхность через маску с отверстиями методом термического испарения в вакууме напылялся медный подслоя;

- производилось закрепление медного подслоя на ситалле путем вакуумного «вжигания»;

- на полученную рельефную поверхность методом термического испарения в вакууме напылялся слой алюминия А5N;

- производилось формирование поверхностной оксидной пленки заданной толщины термическим окислением в кислородной среде.

Маска для напыления подслоя меди представляла собой цилиндр с толщиной стенки 0,1мм, в котором методами фотолитографии изготовлены отверстия диаметром около 100мкм. Напыление и меди и алюминия осуществлялось с вольфрамового испарителя в напылительной установке УВН-2М при остаточном давлении, не превышающем  $2 \cdot 10^{-6}$ мм.рт.ст. Вакуумно-термические операции производились на откачном посту ОП-4.

Фотография участка поверхности катодной подложки после операций формирования микрорельефа показана на рис.2. Высота микрорельефа составила 3-5мкм.



Фотография участка микрорельефной поверхности пленочного холодного катода. Увеличение  $50\times$ .

### Литература

1. Распыление ионным пучком поверхности с углублениями цилиндрической формы / Коржавый А.П., Кристя В.И., Лищук Н.В., Прасицкий В.В. // Тезисы докладов Всесоюзного совещания-семинара “Диагностика поверхности ионными пучками”.-Одесса, изд.МАИ, 1990.- С.100-101.

**Ньейн Чан** – аспирант КФ МГТУ им. Н.Э. Баумана. E-mail: nyinechan84@gmail.com.

**Мазин Анатолий Викторович** – д-р техн. наук, заведующий кафедрой "Информационная безопасность автоматизированных систем" КФ МГТУ им. Н.Э. Баумана. E-mail: mazinav@yandex.ru.

УДК 681.3-7

А.Ю. Макарова

## **УЯЗВИМОСТИ ПРОГРАММНЫХ ПРОДУКТОВ КОМПАНИИ MICROSOFT.**

*Сообщается об уязвимостях, возникающих в компьютерных системах. Рассматривается индекс CVE. Приведены примеры уязвимостей, найденных в программных продуктах компании Microsoft.*

В компьютерной безопасности термин «уязвимость» используется для обозначения недостатка в системе. Используя этот недостаток можно намеренно нарушить целостность системы и вызвать неправильную работу. Уязвимость может быть результатом ошибок программирования, недостатков, допущенных при проектировании системы, ненадежных паролей, вирусов и других вредоносных программ. Некоторые уязвимости известны только теоретически, а другие же активно используются и имеют известные эксплойты.

CVE (Common Vulnerabilities and Exposures) – это список стандартных наименований для самых известных уязвимостей. Основной задачей CVE является согласование различных баз данных разнообразных уязвимостей и инструментов, которые используются этими базами данных. Список CVE имеет несколько индексов – CVE-кандидат и CVE-entry.

CVE-entry. Процесс получения такого индекса начинается еще с момента обнаружения уязвимости. И только затем уязвимости присваивается статус кандидата CVE и соответствующий номер, затем ее подвергают обсуждению, и выносится решение о получении или, наоборот, неполучении индекса CVE. Ей присваивается свой уникальной номер, краткое описание уязвимости и ссылки. Затем она проходит процесс публикации. Зная индекс такой CVE-уязвимости, можно быстро и легко найти ее описание и то, как с ней можно справиться.

С CVE-кандидатом, ассоциируется, в первую очередь номер, затем краткое описание уязвимости и ссылки. Стоит отметить, что номер, обычно, состоит из самого индекса и года, при этом первоначально уязвимости имеет, только, аббревиатуру CAN и только уже затем получает статус CVE.

Теперь подробнее о продуктах компании Microsoft. Недавно она выпустила набор обновлений для своих продуктов, которые закрывают 42 уникальных уязвимости. Обновления ориентированы на продукты Internet Explorer, Windows, NET Framework и Lync Server. Одно обновление из них имеет статус Critical и три статус Important. Обновление MS14-052 исправляет 37 уязвимостей типа Remote Code Execution (удаленное выполнение кода) и Information Disclosure (утечка информации) во всех поддерживаемых версиях IE 6-11 для W2k3+. Уязвимости могут использоваться ата-

кующими для проведения атак типа drive-by download (скрытая загрузка), а также для удаленного получения информации о системе. Одна из исправленных Information Disclosure уязвимостей CVE-2013-7331 используется атакующими для проведения атак на пользователей.

Следующее обновление MS14-053 исправляет одну уязвимость CVE-2014-4072 типа Denial of Service (отказ в обслуживании) во всех версиях .NET Framework. Злоумышленники могут спровоцировать зависание HTTP-сервера с помощью отправки специальным образом сформированных запросов к веб-сайту, работающему под управлением ASP.NET.

Обновление MS14-054 исправляет уязвимость CVE-2014-4074 типа Elevation of Privilege (несанкционированное повышение привелегий) в планировщике задач ОС Windows 8-8.1. Используя эту уязвимость злоумышленники могут поднять свои привилегии в системе до уровня учетной записи LocalSystem, что позволит им выполнять широкий спектр операций на скомпрометированной системе.

Обновление MS14-055 исправляет три уязвимости CVE-2014-4068 (Denial of Service Vulnerability, уязвимость отказ в обслуживании), CVE-2014-4070 (Information Disclosure, утечка информации), CVE-2014-4071 (Denial of Service, отказ в обслуживании) в продукте Microsoft Lync Server 2010-2013. Exploitation Unlikely.

Браузер Internet Explorer имеет критическую уязвимость. Ошибка найдена в версиях браузера с 6-й по 11-ю. Согласно информации, предоставленной от Microsoft, с помощью уязвимости злоумышленники могут получить права администратора на доступ ко всей операционной системе. Большая угроза состоит в том, что браузером пользуются около 50 процентов всех пользователей операционных систем Windows. Уязвимости присвоен номер CVE-201401776. Пока она не устранена.

Также корпорация Microsoft исследует вновь обнаруженную уязвимость в Microsoft Word, позволяющую злоумышленнику удаленно исполнить на компьютере пользователя произвольный код. Уязвимость (CVE-2014-1761) содержится во всех последних версиях популярного текстового редактора: Word 2013, Word 2010, Word 2007 и Microsoft Word 2003, а также в приложении Microsoft Word Viewer и в Microsoft Word, входящем в состав пакета Office for Mac 2011. Чтобы заразить систему, пользователю любой из указанных версий Word достаточно открыть RTF-файл со встроенным в него вредоносным кодом. RTF - это популярный кроссплатформенный формат хранения текстовых документов. Получить вредоносный файл пользователь может, в том числе, в электронном письме. Если на компьютере установлен почтовый клиент Outlook 2007(2010 или 2013), при выборе просмотра вложения Microsoft Word откроется по умолчанию. Кроме того, вредоносный файл может быть загружен в систему в ходе посещения веб-сайта, на котором он может быть размещен. После запуска вредоносного кода злоумышленник получает те же права в системе, кото-

рыми обладает пользователь. То есть если пользователь является администратором Windows, то злоумышленник получит права администратора. Для того чтобы избежать заражения, рекомендуется отключить просмотр документов в формате RTF в Microsoft Word и просматривать почтовые письма в простом текстовом виде. Корпорация выпустила временный патч, запуск которого отключает открытие RTF в Word. О том, когда будет выпущено обновление для Word, которое устранит указанную уязвимость, в Microsoft пока не сообщили.

**Макарова Анастасия Юрьевна** – студент КФ МГТУ им. Н.Э. Баумана. E-mail: [nastyamakarova1794@yandex.ru](mailto:nastyamakarova1794@yandex.ru).

## **СЕКЦИЯ 13.**

**ДИНАМИКА, ПРОЧНОСТЬ И НАДЕЖНОСТЬ  
ПОДЪЕМНО-ТРАНСПОРТНЫХ, СТРОИТЕЛЬНЫХ,  
ДОРОЖНЫХ МАШИН И ОБОРУДОВАНИЯ**



## **К ВОПРОСУ ИССЛЕДОВАНИЯ ДОЛГОВЕЧНОСТИ СОЕДИНЕНИЙ МЕТАЛЛОКОНСТРУКЦИЙ В УСЛОВИЯХ НЕСТАЦИОНАРНОГО НАГРУЖЕНИЯ С УЧЕТОМ РАЗЛИЧНЫХ МЕХАНИЗМОВ ПОВРЕЖДАЕМОСТИ ИХ ЭЛЕМЕНТОВ**

КФ МГТУ им. Н.Э. Баумана, Калуга, 248000, Россия

*Статья посвящена разработке универсального стенда для испытаний металлических конструкций. Отличительной особенностью стенда является новая методика проведения испытаний – динамическая схема с комбинированным жестко-эластичным возбуждением. Актуальность данной статьи не вызывает сомнения, поскольку современный уровень развития техники и технологии предъявляет повышенные требования к длительной прочности металлических конструкций. Существующие расчетные методы ее определения оперируют большим количеством эмпирических коэффициентов, для нахождения которых необходимо проведение стендовых испытаний. Особый интерес представляет предлагаемый подход к исследованию прочности соединений металлических конструкций, который заключается в разбиении их на элементы с последующим применением к каждому из них отдельных механизмов повреждаемости. Данный подход обеспечивает более точное определение долговечности в условиях нестационарного нагружения.*

**Ключевые слова:** болтовые соединения, испытательный стенд, металлические конструкции, поврежденность, усталость, фреттинг-коррозия.

**Введение.** Фрикционное соединение на болтах с контролируемой затяжкой (заклепках) состоит из трех элементов [1]:

- несущего элемента (лист), передающего переменную нагрузку;
- болтов (заклепок), обеспечивающих контактное взаимодействие в соединении и передающих постоянную растягивающую нагрузку;
- стыка (третьего тела), передающего переменную нагрузку в условиях контактного взаимодействия.

Для оценки длительной прочности соединения каждому ее элементу можно сопоставить отдельный критерий механики рассеянных повреждений. Для несущего элемента – механизм повреждаемости 1. Болты (заклепки) – механизм повреждаемости 2 (в случае фрикционно-срезного соединения – механизм поврежденности 1, 2). Стык – механизм повреждаемости 3.

Макро- и микроструктура реального материала всегда содержит дефекты. В процессе деформирования материала эти дефекты растут, а кроме того, возникают новые дефекты, способствующие «разрыхлению» материала, его несущая способность уменьшается до наступления полного разрушения. Наиболее перспективным способом описания множественных повреждений является представление поля дефектов через его обобщенный параметр, например, повреждаемость. Рассмотрим критерии, в которых повреждаемость характеризуется скалярной величиной коэффициента повреждаемости  $\omega$  или коэффициента сплошности  $\psi = 1 - \omega$  [2].

**1. Критерии сопротивления усталости.** Концептуальные положения механики рассеянных повреждений могут быть положены в основу построения критериев сопротивлению усталости.

В соответствии с принципом линейного суммирования повреждений момент усталостного разрушения при циклическом нагружении определяется соотношением:

$$\sum_{k=1}^s \frac{\Delta n_k}{N_k} = 1,$$

где число  $s$  неявно характеризует время разрушения  $t_B$ ;  $\Delta n_k$  – группа циклов соответствующей амплитуде  $\Delta \sigma_k$ ;  $N_k$  – полное число циклов до разрушения.

Для описания процесса усталостного разрушения Новожиловым предложен критерий усталостного разрушения:

$$\varepsilon_i^{(p)} = \frac{D}{\Omega} \left( 1 - \frac{\sigma}{\sigma_f} \right)^c,$$

где  $\varepsilon_i^{(p)}$  – интенсивность пластических деформаций;  $D = 2\mu\tau_B^2$ , где  $\mu$  – коэффициент внутреннего трения, а  $\tau_B$  – предельное значение деформаций сдвига;  $\Omega$  – объемная поврежденность среды (степень «разрыхления»);  $\sigma$  – среднее нормальное напряжение;  $\sigma_f \approx \sigma_B$  – сопротивление среды всестороннему растяжению;  $c$  – характеристика охрупчивания материала при объемном напряженном состоянии. Постоянные  $D$ ,  $\sigma_f$  и  $c$  подлежат экспериментальному определению.

**2. Критерии длительной прочности. Критерий Качанова.** Этот критерий основан на предположении, что хрупкий разрыв есть конечный результат развития дефектов в деформируемом твердом теле, находящемся под действием нагрузки. При этом для характеристики состояния поврежденности принимается скалярная величина  $0 \leq \psi \leq 1$ : в начальный момент времени при отсутствии поврежденности  $\psi = 1$ ; с течением времени сплошность среды характеризуется величиной  $\psi < 1$ . Функция  $\psi$  описывает рассеянный характер разрушения среды, который возникает вследствие

взаимодействия и слияние дефектов. При этом в наиболее ослабленных сечениях возникают магистральные трещины.

Кинетическое уравнение поврежденности, записанное через коэффициент сплошности, в этом случае можно записать в форме:

$$\frac{d\psi}{dt} = -A \left( \frac{\sigma_0}{\psi} \right)^n,$$

где  $A > 0$  и  $n \geq 0$  – постоянные аппроксимации.

Критерий длительной прочности Качанова:

$$t_B = \frac{1}{(n+1)A\sigma_0^n},$$

где постоянные  $n$  и  $A$  определяются путем сопоставления времени  $t_B$  с экспериментальным временем разрушения данного материала при заданной температуре.

**Критерий Работнова.** Этот критерий является обобщением критерия Качанова и учитывает взаимодействие процессов ползучести и разрушения. В качестве параметра поврежденности выбран коэффициент поврежденности  $\omega$ :  $\omega = 0$  в начальном состоянии, а затем коэффициент поврежденности возрастает и в момент разрушения принимает значение  $\omega = 1$ . Согласно подходу Работнова существуют два основных типа разрушения – вязкое и хрупкое, которые могут быть реализованы отдельно или совместно.

Кинетическое уравнение поврежденности принимает вид:

$$\frac{d\omega}{dt} = b\sigma_0^n (1-\omega)^{-\alpha},$$

где  $b$  и  $\alpha$  – некоторые постоянные. Теперь в соответствии с моделью Работнова необходимо включить функцию поврежденности  $\omega$  в уравнение ползучести:

$$\frac{d\varepsilon}{dt} = c\sigma_0^m (1-\omega)^{-\beta},$$

где  $m \geq n$  – показатель ползучести;  $c$  и  $\beta$  – некоторые постоянные.

**Критерий Москвитина.** Этот критерий учитывает историю нагружений. Вследствие этого вводится функция поврежденности  $\omega(t)$ , удовлетворяющая условиям  $\omega(0) = 0$  и  $\omega(t_B) = 1$ .

Критерий длительной прочности Москвитина:

$$(1+m) \int_0^{t_B} \frac{t_B - \tau}{t_B^{1+m} [\sigma_{\text{Э}}(\tau)]} d\tau = 1,$$

который определяет время разрушения  $t_B$  при заданной функции  $\sigma_{\text{Э}}(t)$  и известной экспериментальной функции  $t_B[\sigma_{\text{Э}}(\tau)]$ . Здесь  $\tau$  – переменная интегрирования;  $m$  – постоянная, которую находят по результатам дополнительных экспериментов.

**3. Механизм фреттинг-коррозии.** Долговечность контакта определяется развитием процессов износа (фреттинг-износа, фреттинг-коррозии). Фреттинг снижает усталостную прочность конструкции и часто бывает причиной разрушения болтовых и заклепочных соединений. Фреттинг-износ изменяет условия контактных взаимодействий. Результаты многих исследований показали, что степень повреждения при фреттинге, выражаемая, например, потерей массы образцов, возрастает с увеличением амплитуды проскальзывания во многих случаях по линейному закону. Повреждения поверхностных слоев от фреттинга возникает при весьма малых контактных давлениях и возрастает с ростом давления до определенных пределов, после чего происходит стабилизация или даже уменьшение повреждений [3].

Механизм повреждаемости может быть качественно описан уравнением потери массы поверхности металла:

$$m = \left( k_1 \sqrt{F} - k_2 F \right) \frac{Z}{\nu} + k_3 \delta F Z,$$

где  $F$  – нагрузка;  $Z$  – полное число циклов;  $\nu$  – частота;  $\delta$  – смещение в плоскости контакта,  $k_1$ ,  $k_2$  и  $k_3$  – константы.

Первый член правой части представляет химическую составляющую фреттинг-коррозии. Эта величина уменьшается с повышением частоты  $\nu$ , так как при этом сокращается время протекания химической реакции (или адсорбции) за один цикл. Второй член уравнения представляет механический фактор, не зависящий от частоты, но пропорциональный смещению и нагрузке. В зависимости от условий эксперимента, разрушение может в большей степени быть обусловлено как первым, так и вторым фактором.

Усталость материала – процесс постепенного накопления повреждений под действием переменных (часто циклических) напряжений, приводящий к изменению его свойств, образованию трещин, их развитию и разрушению материала за указанное время [4].

В настоящее время материалы и конструкции используются в различных целях и различных условиях, при которых пренебрежение усталостной прочностью недопустимо.

Существующие методы исследования усталостных характеристик конструкций могут быть разделены на три группы: расчетные, эмпирические и экспериментальные [5].

Расчетные методы определения усталостной прочности сложны, трудоемки и малонадежны за счет того, что не располагают достаточно полными данными, необходимыми для точной количественной оценки усталостной прочности конструкции при всех возможных условиях ее изготовления, сборки и нагружения.

Эмпирические методы определения характеристик усталости базируются на изучении опыта эксплуатации конструкций в реальных условиях. Хотя они и дают более достоверную оценку выносливости и долговечности, они обладают существенными недостатками: невозможность установ-



д) е)  
**Рис. 1.** Схемы нагружения образцов

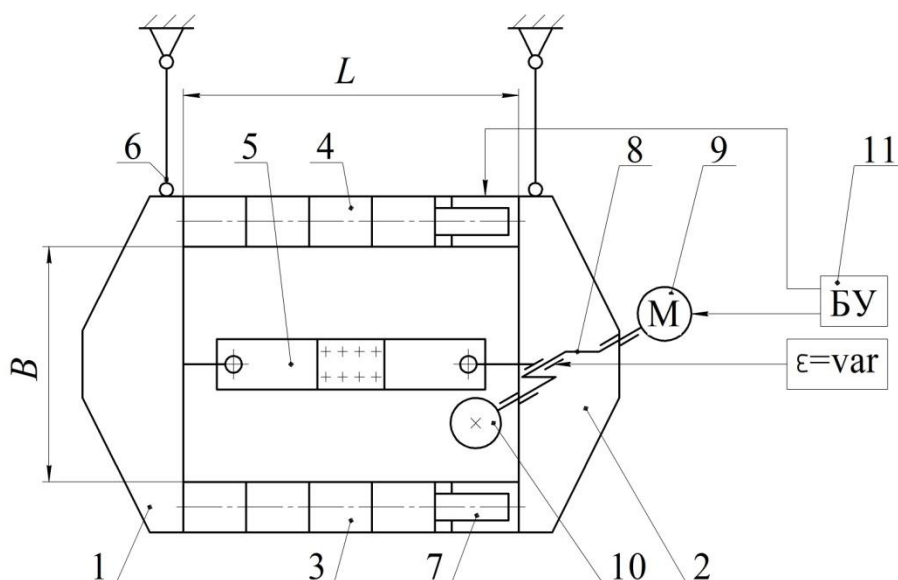
Согласно ГОСТ 25.502-79 машины для испытания на усталость должны обеспечивать нагружение образцов по одной или нескольким схемам (рис. 1):

- а) чистый изгиб при вращении;
- б) поперечный изгиб при вращении при консольном нагружении;
- в) чистый изгиб в одной плоскости;
- г) поперечный изгиб в одной плоскости при консольном нагружении;
- д) повторно-переменное растяжение-сжатие;
- е) повторно-переменное кручение.

Испытательные установки также могут быть классифицированы по ряду признаков:

1. По механизму создания переменных нагрузок:
  - работающие в вынужденном режиме;
  - работающие в автоколебательном режиме.
2. В зависимости от типа динамических схем различают:
  - установки с жестким возбуждением;
  - установки с эластичным прямым возбуждением, при котором усилие передается непосредственно на испытуемый объект;
  - установки с эластичным косвенным возбуждением, при котором усилие передается к испытуемому объекту через промежуточную упругую систему;
  - установки с возбуждением постоянным усилием;
  - установки с нагружением силами инерции собственных распределенных масс.
3. В зависимости от степени автоматизации:
  - автоматические установки (автоматы нагружения);
  - частично автоматизированные (полуавтоматические) установки;
  - неавтоматические установки (испытательные машины).

**Универсальный стенд.** Принципиальная схема стенда представлена на рисунке 2.



**Рис. 2.** Принципиальная схема стенда

Стенд состоит из опорных балок 1 и 2, между которыми устанавливаются опорные колонны 3 и 4 и образец металлоконструкции 5. Стенд подвешен на канатах 6.

Статические испытания и определение физических свойств материалов на растяжение, изгиб и кручение проводятся двумя гидравлическими домкратами 7 при различных схемах закрепления образца. Наибольшая предельная нагрузка одного гидравлического домкрата – 100 кН.

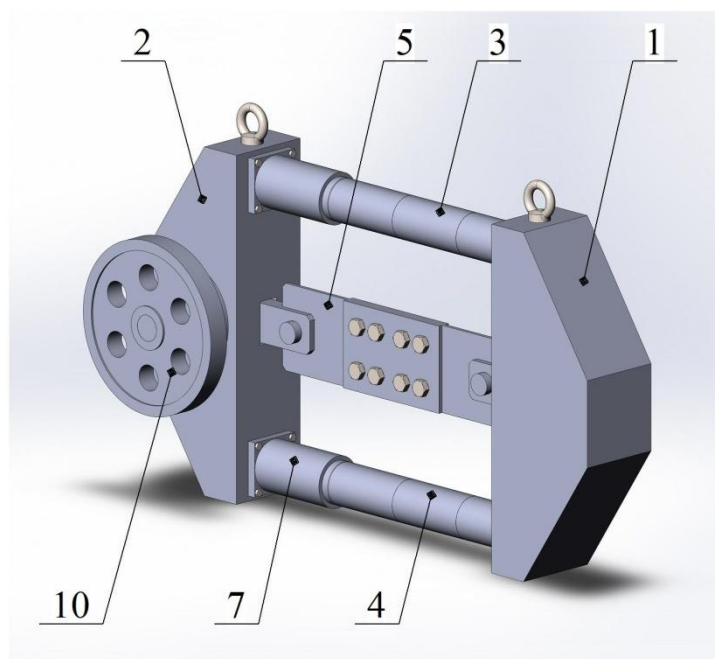
Испытания на усталость проводятся эксцентриковым валом 8, приводимым во вращение гидромотором 9. Эксцентрик представляет собой втулку, отверстие которой выполнено со смещением относительно оси на 1 мм, которая закрепляется на валу с аналогичным эксцентриситетом. Данная схема позволяет менять эксцентриситет в пределах  $\epsilon = 0 \dots 2$  мм, что дает возможность проводить испытания при различных циклах нагружения.

Автоматизация усталостных испытаний осуществляется блоком управления 11, который воздействует на гидромотор и гидродомкраты с возможностью получения нестационарного нагружения испытываемого образца.

Длина опорных колонн  $L$  изменяется в зависимости от размера испытываемого образца путем установки дополнительных металлических втулок.

На рисунке 3 представлена упрощенная 3D модель стенда. В целях экономии пространства эксцентриковый вал установлен в опорной балке. На нем же установлен маховик 10, использующийся в качестве накопителя кинетической энергии.

В процессе усталостных испытаний происходит неравномерное поступление и использование энергии. Маховик накапливает энергию, когда поступление энергии выше, чем расход, и отдает её, когда потребление превышает поступление энергии. Это обеспечивает плавность динамического нагружения.



**Рис. 3.** Упрощенная 3D модель стенда

Основные технические характеристики стенда:

1. Наибольшая статическая нагрузка, развиваемая двумя гидравлическими домкратами – 200 кН;
2. Наибольшая амплитуда динамической нагрузки – 60 кН;
3. Номинальная частота циклов динамического нагружения – 16,7 Гц (1000 об/мин);
4. Наибольшее расстояние между креплениями ( $L$ ) – в зависимости от количества установленных между балками втулок может достигать 600 мм;
5. Ширина рабочего пространства ( $B$ ), она же – расстояние между гидравлическими домкратами – 500 мм;
6. Рабочий ход гидроцилиндра – 20 мм.

К конкурентным преимуществам стенда по отношению к аналогам можно отнести:

1. Система подвеса с «нулевой жесткостью»;
2. Широкий диапазон прикладываемых к образцу нагрузок;
3. Новая методика проведения испытаний – комбинированное жестко-эластичного возбуждение;
4. Меньшая стоимость.

Система подвеса с «нулевой жесткостью» подразумевает схему подвеса стенда на канатах для уменьшения шума и вибрации, возникающих в ходе проведения испытаний. Это дает возможность установки стенда в учебной аудитории.

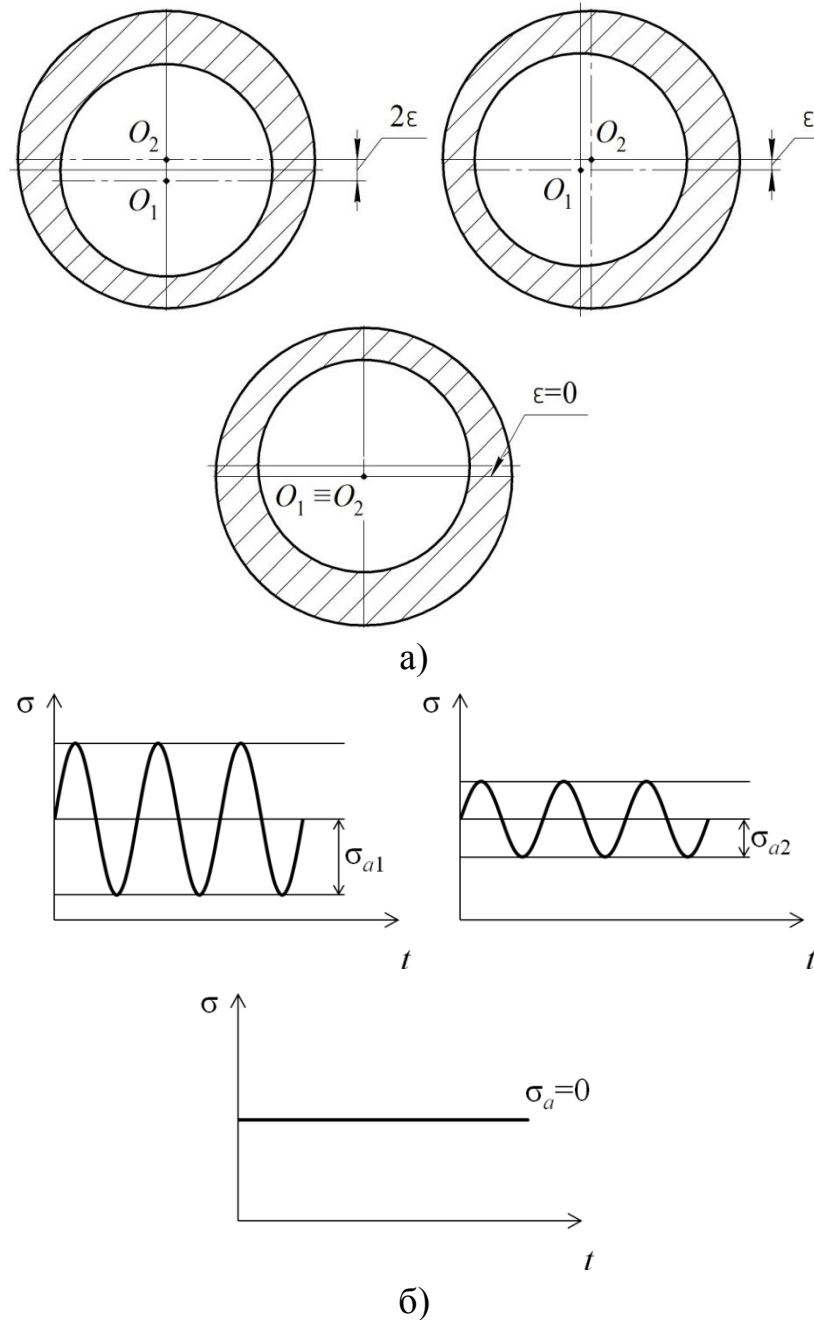
Статические и усталостные испытания образцов на растяжение, изгиб и кручение проводятся при различных схемах закрепления образца. Основным видом нагружения является осевое растяжение (рис. 1, д), остальные перечисленные обеспечиваются установкой дополнительных приспособлений. Также,



конструкцией предусмотрена установка климатических камер для испытания образцов в условиях холодного климата, тропиков, в агрессивных средах.

Различные варианты закрепления эксцентриковой втулки на приводном эксцентриковом валу дает различные варианты цикла нагружения (рис. 4, а). Здесь точка  $O_1$  – ось вращения вала,  $O_2$  – ось втулки.

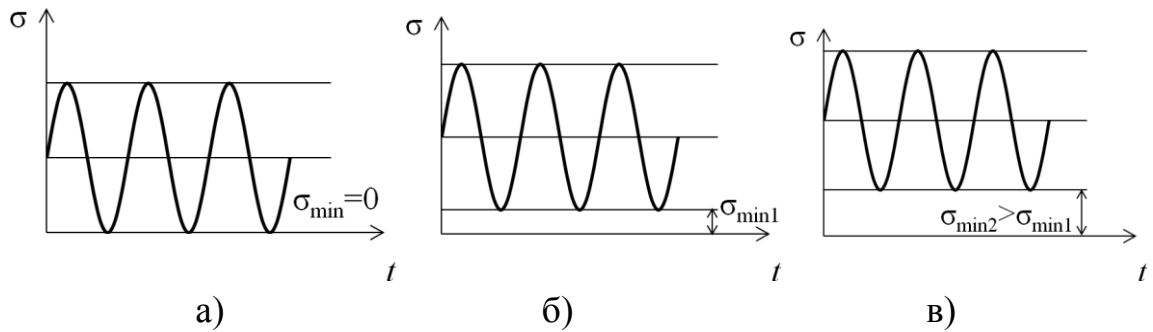
Как видно из графиков (рис. 4, б) при уменьшении общего эксцентриситета  $\varepsilon$  уменьшается амплитуда напряжений  $\sigma_a$ . Конструктивно возможно обеспечить нулевой эксцентриситет  $\varepsilon = 0$ , при котором амплитуда отсутствует, однако, практического применения эта схема не имеет.



**Рис. 4.** Зависимость циклов нагружения от величины эксцентриситета

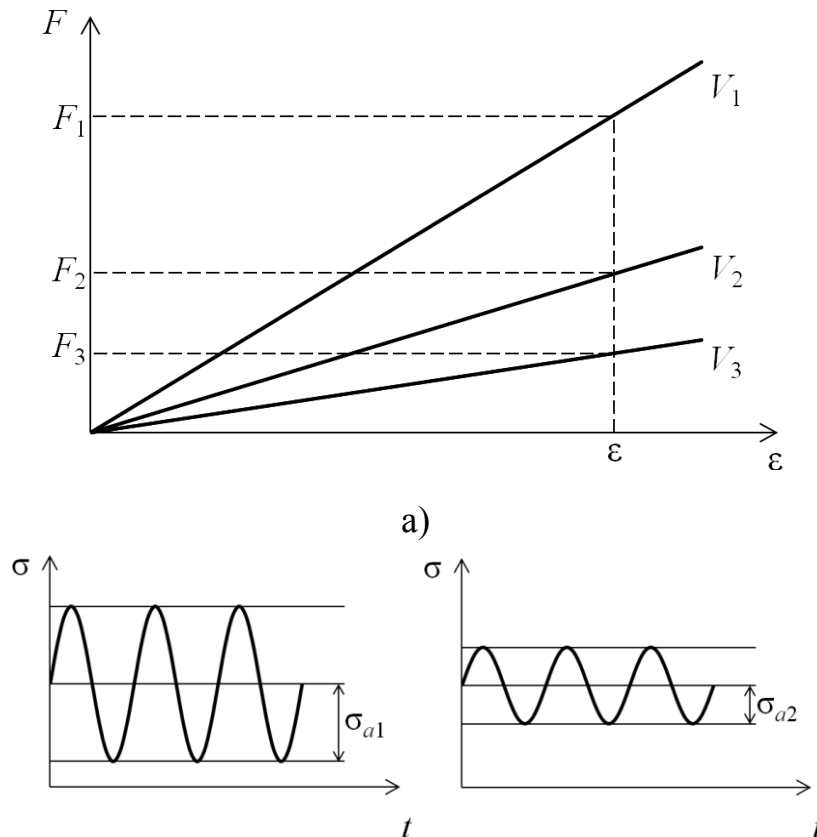
Изменение величины минимального напряжения цикла достигается нагружением образца гидравлическими домкратами при постоянной величине эксцентриситета (рис. 5).

При отсутствии нагрузки (рис. 5, а) цикл нагружения будет отнулевым пульсирующим  $\sigma_{\min} = 0$ . При увеличении нагрузки  $F$  увеличиваются минимальные напряжения цикла (рис. 5, б, в).



**Рис. 5.** Зависимость циклов нагружения от нагрузки гидродомкратов

Новая методика проведения усталостных испытаний заключается в следующем. Колебания возбуждает механический привод, выполненный в виде эксцентрикового вала, однако в системе присутствуют гидравлические домкраты, в которых рабочая жидкость будет выступать в роли пружины. В связи с этим на величину напряжений в образце будет влиять суммарная жесткость системы, которая в свою очередь складывается из жесткости образца и жесткости стенда (рис. 6).



б)

в)

**Рис. 6.** Зависимость циклов нагружения от жесткости системы

Изменяя жесткость стенда за счет установки дополнительных гидравлических батарей, т.е. увеличения объема жидкости, можно изменять амплитуду динамической нагрузки (рис. 6, а). Здесь  $F_1$ ,  $F_2$ ,  $F_3$  – величины динамической нагрузки,  $V_1$ ,  $V_2$ ,  $V_3$  – объем жидкости в полости гидроцилиндра и гидравлической батареи.

При одной величине эксцентриситета, но при разных значениях жесткости системы возможны различные виды цикла (рис. 6, б, в). Большей жесткости соответствует меньшая амплитуда напряжений.

Применяя варианты рассмотренных выше методов возможно создание различных нестационарных циклов нагружения.

В данный момент стенд находится на этапе разработки конструкторской документации. Также принято решение о составлении и подаче заявления на полезную модель.

Опытный образец планируется использовать на кафедре, как в качестве стенда для проведения лабораторных работ, так и для дальнейших НИ-ОКР в области повышения усталостной прочности металлоконструкций.

#### ЛИТЕРАТУРА

[1] СП 16.13330.2011 Стальные конструкции. Актуализированная редакция СНиП II-23-81\* / Минрегион России. — М.: ОАО "ЦПП", 2011. — 173 с.

[2] Селиванов В.В. Механика разрушения деформируемого тела: Учебник для вузов. — 2-е изд., испр. — М.: Изд-во МГТУ им. Н.Э. Баумана, 2006. — 424 с.

[3] Уотерхауз Р.Б. Фреттинг-коррозия. — Л.: Машиностроение, 1976. — 272 с.

[4] Соколов С.А. Металлические конструкции подъемно-транспортных машин: Учебное пособие. — СПб.: Политехника, 2005. — 423 с.

[5] Литвак В.И. Автоматизация усталостных испытаний натуральных конструкций. М., Машиностроение, 1972. — 384 с.

[6] Школьник Л.М. Методика усталостных испытаний. Справочник. М.: Металлургия, 1978. — 304 с.

**Заярный Сергей Леонидович** – канд. техн. наук, доцент кафедры «Детали машин и подъемно-транспортное оборудование» КФ МГТУ им. Н.Э. Баумана. E-mail: texnakon@yandex.ru.

**Потапов Дмитрий Валерьевич** – студент КФ МГТУ им. Н.Э. Баумана. E-mail: lameduck@yandex.ru

S.L. Zayarny, D.V. Potapov

## **DURABILITY ANALYSIS OF METAL CONSTRUCTION JOINTS IN CASE OF NON-STATIONARY LOADING ACCORDING TO DIFFERENT DAMAGEABILITY MECHANISMS OF THEIR ELEMENTS**

Bauman Moscow State Technical University, Kaluga Branch, Kaluga,  
248000, Russia

*The article is devoted to design of the universal test desk for metal structures testing. The distinctive feature of the test desk is a new method of testing – the dynamic scheme with combined hard-elastic excitation. The present state of science and technology has high requirements for long-term strength of metal structures, but existing theoretical methods of its determination operate a large number of empirical coefficients, which are necessary to find. The proposed approach to the metal structures joints strength analysis is dividing them into elements and applying to every element an individual damageability mechanism. This approach provides a more correct longevity determination in case of non-stationary loading.*

**Keywords:** bolted joints, test desk, metal constructions, damageability, fatigue, fretting corrosion.

### **REFERENCES**

- [1] SP 16.13330.2011 Steel structures. The updated edition of the SNIP II-23-81 \* / Ministry of Regional Development of Russia. — M.: "СРР", 2011. — 173 p.
- [2] Selivanov V.V. Fracture Mechanics of deformable bodies: Textbook for technical colleges. — 2nd ed., Rev. M.: Bauman MSTU, 2006. — 424 p.
- [3] Waterhouse R.B. Fretting corrosion. — L.: Mechanical Engineering, 1976. — 272 p.
- [4] Sokolov S.A. Metal construction hoisting machinery: Manual. — SPb.: University of Technology, 2005. — 423 p.
- [5] Litvak V.I. Automation of fatigue tests of full—scale structures. M., Mechanical Engineering, 1972. — 384 p.
- [6] Shkolnik L.M. Methods of fatigue testing. Handbook. M.: Metallurgy, 1978. — 304 p.

**Zayarny Sergey Leonidovich**, Ph. D., Assoc. Professor of Kaluga Branch of Bauman Moscow State Technical University. E-mail: texnakon@yandex.ru.

**Potapov Dmitry Valerevich**, student of the Kaluga Branch of the Bauman Moscow State Technical University. E-mail: lameduck@yandex.ru.

## К ВОПРОСУ ПРИМЕНЕНИЕ КОНИЧЕСКИХ СОЕДИНЕНИЙ В ПРИВОДНЫХ МЕХАНИЗМАХ ГРУЗОПОДЪЕМНЫХ КРАНОВ

КФ МГТУ им. Н.Э. Баумана, Калуга, 248000, Россия

*Рассмотрены конструкции и методики расчета конические соединения элементов привода. Рассмотрено влияние конструктивных параметров на несущую способность конические соединения и условия их сборки – разборки. Определена возможность более широкого применений конических соединений в приводных механизмах грузоподъемных кранов.*

**Ключевые слова:** коническое соединение, конструктивные параметры, несущая способность, механизмы грузоподъемных кранов.

**Введение.** Конические соединения (КС) имеют широкое распространение в машиностроении в качестве соединений элементов привода. Их достоинством, по сравнению с цилиндрическими соединениями, являются: возможность более точного установления и контроля натяга, удобство и возможность практически неограниченного числа сборок и разборок [1]. По конструктивному исполнению КС могут выполняться как со шпонкой (КСШ) так и без нее. Формирование КШС с конусностью  $C = 1/10; 1/15$  обеспечивается затяжкой нажимной гайки (НГ), а при  $C \leq 1/20$  гидропрессовым (ГП) способом.

В настоящей работе проведен сравнительный анализ вариантов исполнения КС [2,3,4] и дана оценка возможности их применения в качестве соединения элементов привода механизмов грузоподъемных кранов.

**Конические соединения со шпонкой**, по условия передачи нагрузки, являются комбинированными соединениями [2], так как часть общего крутящего момента  $T$  передается за счет фрикционного взаимодействия сопрягаемых поверхностей (СП) соединения. Такие соединения являются условно подвижными и не обладают достаточной долговечностью, в частности по условию развития фреттинг коррозии [1]. Однако в тех случаях, когда долговечность КСШ не ограничивается этим условием, фактическая несущая способность (НС) соединения определена как  $T \leq T_{ш} + T_n$ , где  $T_{ш}, T_n$  - моменты передаваемые шпонкой и фрикционным взаимодействием. При этом условие прочности КСШ определяются как:  $T \leq [T_n]$ , при  $T_{ш} \leq T_n$ ;  $T \leq [T_{ш}]$ , при  $T_n \leq T_{ш}$ .

Допускаемое значение крутящего момента передаваемого шпонкой определяется как

$$[T_{ш}] \leq [\sigma]_{см} \frac{\langle d \rangle l_p t}{2} 10^{-6} [кН \cdot м], \quad (1)$$

где  $l_p$  - рабочая длина шпонки, мм;  $\langle d \rangle$  - средний диаметр конической части вала, мм;  $t = 0,4h$  - глубина врезания шпонки в ступицу, мм;  $h$  - высота шпонки, мм;  $[\sigma]_{см}$  - допускаемые напряжения на смятие, устанавливаемые в зависимости от вида и режима нагружения, МПа.

Допускаемое значение крутящего момента передаваемого фрикционным взаимодействием СП определяется как

$$[T_n] = \frac{\sigma_n \pi d_m^2 l v_\theta}{2} \cdot 10^{-6} [кН \cdot м], \quad (2)$$

где  $\sigma_n$  - контактные напряжения от затяжки НГ, МПа;  $v_\theta$  - коэффициент трения пары вал-ступица в окружном направлении;  $l$  - длина конуса, мм.

Контактные напряжения на СП КСШ от затяжки НГ определяется как

$$\sigma_n = \frac{2F_z}{C\pi \langle d \rangle l (1 + \xi)} [МПа], \quad (3)$$

где  $F_z$  - осевое усилие от затяжки НГ, Н;  $\xi = \frac{v_z}{tg(\alpha/2)}$  - индекс самоторможения КС, (при  $\xi \geq 1$  самоторможение обеспечено);  $v_z$  - коэффициент трения в направлении оси СП;  $\alpha$  - угол конуса, рад.

Усилие, возникающее при затяжке НГ КСШ, определяется как

$$F_z = \frac{T_F}{d_r [v_A r_A + k_r (1 - p/d_r)]}, \quad (4)$$

где  $T_F$  - момент затяжки КСШ, кН·м;  $d_r, p$  - номинальный диаметр и шаг

резьбы, мм;  $r_A = \frac{1}{3} \frac{1 - k_A^3}{1 - k_A^2}$  - приведенный радиус трения опорной поверхности

(ОПГ) НГ;  $k_A = d_g/d_n$  - коэффициент приведения ОПГ;  $d_n, d_g$  - наружный и

внутренней диаметр ОПГ;  $k_r = \frac{d_r - p}{d_r} \left( 0,16 \frac{p}{d_r - p} + 0,5v_r \right)$  - коэффициент пе-

редачи резьбы;  $v_r, v_A$  - коэффициенты трения в резьбе и на ОПГ.

В зависимости от вида покрытия и смазки в НГ коэффициенты трения изменяются в пределах  $v_r = 0,14 - 0,52, v_A = 0,05 - 0,24$ .

В таблице 1 представлены виды сочетаний  $J$  конструктивные параметров для КСШ<sub>J</sub> при  $C = 1/10; 1/15$  согласно ГОСТ 12081 и ГОСТ 8838.

В таблице 2 коэффициенты трения  $v_r$  и  $v_A$  разделены по видам сочетаний  $(v_r/v_A)_I$ . При сборке КСШ<sub>J</sub> выполненных по ГОСТ 12081 и ГОСТ 8838 коэффициент трения на СП устанавливался в пределах  $v_z = 0,1 - 0,14$ , что соответствует СП без покрытия со смазкой.

В случае изготовления КСШ<sub>J</sub> при  $C = 1/15$  по ГОСТ 8838 их сборка может выполняться ГП способом, для чего предусматривается серпо-

видная канавка для подвода масла [3]. Сборка КСШ<sub>J</sub> проводится затяжкой НГ с одновременной подачей масла на СП через подводящую канавку. При этом коэффициент трения уменьшается до  $\nu_{zп} = 0,02 - 0,03$ , что позволяет создать на СП большие контактные напряжения.

На рисунках 1,2 представлены графики изменения  $T_n, T_{ш}$  в зависимости от сочетаний  $(\nu_r/\nu_A)_I$  и КСШ<sub>J</sub>. При этом коэффициент трений на СП при передаче нагрузки составляет  $\nu_\theta = 0,21 - 0,24$ , что соответствует ГП способу сборки [1].

Момент затяжки НГ определялся из соотношения  $T_{нг} = FL = 4,5d \cdot 10^{-3} [H \cdot м]$ , где  $F = 300H$  - усилие на ключе нормальной длины  $L = 15d [мм]$ .

Из рассмотрения представленных графических зависимостей, определенных без учета отклонения формы и угла конуса СП, видно, что соотношение моментов передаваемых шпонкой и фрикционным взаимодействием может изменяться в значительных пределах.

Номинальный диаметральный натяг КС определяется из соотношения  $\delta = s \cdot tg\alpha$ , где  $s$  - величина осевого смещения деталей КС при сборке.

При этом изменение диаметрального натяга по длине КС определяется как

$$\delta(z) = \delta - z [tg(\alpha + \Delta\alpha_1) - tg(\alpha + \Delta\alpha_2)] \vee \delta(z) \geq 0, \quad (5)$$

где  $\Delta\alpha_{1(2)}$  - отклонения углов конусов сопрягаемых деталей.

Влияние угловых отклонений конусов на НС КС определяется через усредненную по длине потерю диаметрального натяга, которая с учетом (5) составляет

$$\langle \Delta\delta \rangle = l(\Delta\alpha_1 + \Delta\alpha_2)/2 \vee \delta(z) \geq 0.$$

При этом НС соединения с учетом угловых отклонений определится как

$$T_{\Delta\alpha_1+\Delta\alpha_2} = TK_{\Delta\alpha_1+\Delta\alpha_2}, \quad \text{где } K_{\Delta\alpha_1+\Delta\alpha_2} = 1 - (\langle \delta \rangle / \delta) \quad (6)$$

Согласно ГОСТ 12081 и ГОСТ 8838 комплексный контроль КСШ выполняется по смещению калибра, а допуск углов конусов, как округленный допуск угла  $AT'\alpha_9$  по ГОСТ 8908.

При  $C \leq 1/10$  контактные напряжения в КС можно определять как

$$\sigma_n = \langle g \rangle \delta, \quad (7)$$

где  $\langle g \rangle = \frac{E}{\langle d \rangle (\langle \psi_1 \rangle + \langle \psi_2 \rangle)}$  - средняя радиальная жесткость КС,  $E$  - модуль упругости материала,  $\langle \psi_{1(2)} \rangle$  - средние значения коэффициентов податливости охватываемой и охватывающей деталей КС.

С учетом этого (6),(7) коэффициента потери НС КС можно определить как

$$K_{\Delta\alpha_1+\Delta\alpha_2} = 1 - \frac{[(\Delta\alpha_1 + \Delta\alpha_2)][pad]}{2} \frac{l}{\sigma_H d} \frac{E}{\langle\psi_1\rangle + \langle\psi_2\rangle} \vee K_{\Delta\alpha_1+\Delta\alpha_2} \geq 0,5. \quad (8)$$

Для случаев характерных размеров вала и ступицы КСШ изготовленных из стали, принимаем:  $E = 2 \cdot 10^5 \text{ МПа}$ ,  $\langle\psi_1\rangle = 1$ ,  $\langle\psi_2\rangle = 3$ . Тогда (8) преобразуется к виду

$$\begin{aligned} K_{\Delta\alpha_1+\Delta\alpha_2} &= 1 - \frac{[(\Delta\alpha_1 + \Delta\alpha_2)][pad]}{4} \frac{l}{\sigma_H d} \cdot 10^5 = \\ &= 1 - \frac{[(\Delta\alpha_1 + \Delta\alpha_2)][c]}{8} \frac{l}{\sigma_H d} \vee K_{\Delta\alpha_1+\Delta\alpha_2} \geq 0,5 \end{aligned} \quad (9)$$

При симметричных и одинаковых полях допусков, максимальные отклонения углов конусов деталей КС составит  $\Delta\alpha_{1(2)\max} = \pm AT'_\alpha / 2$ , тогда с учетом (8) имеем

$$K_{\Delta\alpha\max} = 1 - \frac{AT'_\alpha [pad]}{4} \frac{l}{\sigma_H d} \cdot 10^5 = 1 - \frac{AT'_\alpha [c]}{8} \frac{l}{\sigma_H d} \vee K_{\Delta\alpha\max} \geq 0,5.$$

С учетом (5), (9) можно установить соответствие параметров  $K_{\Delta\alpha\max}$ ,  $\delta(z)$  для КС, а именно:  $K_{\Delta\alpha\max} = 0 \Leftrightarrow \delta(z=0) = \delta, \delta(l/2 \leq z \leq l) = 0$  - стык раскрыт на половине длины КС;  $K_{\Delta\alpha\max} = 0,5 \Leftrightarrow \delta(z=0) = \delta, \delta(z=l) = 0$  - раскрытие стыка только на краю КС;  $K_{\Delta\alpha\max} = 1 \Leftrightarrow \delta(z) = \delta$  - равномерный натяг по длине стыка КС.

Если отклонений угла конуса имеет нормальное распределение с плотностью вероятности  $\mu_{1(2)}(\Delta\alpha_{1(2)})$ , то с достаточной точностью  $AT'_{\alpha_{1(2)}} = 6 \cdot \sqrt{D_{\Delta\alpha_{1(2)}}$ , где  $D_{\Delta\alpha_{1(2)}}$  дисперсия нормально распределённых  $\Delta\alpha_{1(2)}$ .

В таблице 3 представлены значения полей допусков и соответствующих им дисперсий для различных степеней точности угла конуса согласно ГОСТ 8908.

Если нормальное распределения  $\mu_{1(2)}(\Delta\alpha_{1(2)})$  имеют параметры:  $\langle\Delta\alpha_{1(2)}\rangle; \sqrt{D_{\Delta\alpha_{1(2)}}$ , то распределение  $\mu(\Delta\alpha_1 + \Delta\alpha_2)$  будет нормальным с параметрами:  $\langle\Delta\alpha_1 + \Delta\alpha_2\rangle = \langle\Delta\alpha_1\rangle + \langle\Delta\alpha_2\rangle, \sqrt{D_{(\Delta\alpha_1+\Delta\alpha_2)}} = \sqrt{D_{\Delta\alpha_1} + D_{\Delta\alpha_2}}$ .

В случае если  $\langle\Delta\alpha_{1(2)}\rangle = 0$  и  $\Delta\alpha_1 = \Delta\alpha_2$ , то для  $\mu(2\Delta\alpha)$  параметры составят:  $\langle 2\Delta\alpha \rangle = 0; \sqrt{D_{(\Delta\alpha_1+\Delta\alpha_2)}} = \sqrt{D_{2\Delta\alpha}} = \sqrt{2} AT'_\alpha / 6$ .

При этом из соотношения (9) можно получить условие обеспечения заданной величины коэффициента  $K_{2\Delta\alpha}$ , так например при  $K_{2\Delta\alpha} = 0,5$



$$\frac{\Delta\alpha [c]}{4} \frac{l}{\sigma_H d} = 0,5 \rightarrow \Delta\alpha_{K_{2\Delta\alpha}=0,5} = \frac{2\sigma_H d}{l} [c] \quad (10)$$

Условие обеспечения  $K_{2\Delta\alpha} \leq 0,5$ , определяется из геометрических соотношений и, например, для  $K_{2\Delta\alpha} = 0,25$  составляет,  $\Delta\alpha_{K_{\Delta\alpha}=0,25} = 2\Delta\alpha_{K_{\Delta\alpha}=0,5}$ . Это соответствует раскрытию стыка на половине длины КС.

Для случайной величины  $(\Delta\alpha_1 + \Delta\alpha_2)$ , распределенной в пределах симметричного поля допуска по нормальному закону, вероятность ее «выхода» за заданный интервал определяется условием

$$P(-\Delta\alpha_0 \leq (\Delta\alpha_1 + \Delta\alpha_2) \leq \Delta\alpha_0) = 2\Phi_0\left(\frac{\Delta\alpha_0}{\sigma_{\Delta\alpha_1 + \Delta\alpha_2}}\right), \quad (11)$$

где  $\Phi_0\left(\frac{\Delta\alpha_0}{\sigma_{\Delta\alpha_1 + \Delta\alpha_2}}\right)$  - значение интеграла Лапласа для стандартного нормального распределения,  $\Delta\alpha_0$  - граничное условие.

С учетом этого соотношения получены значения вероятностей  $P(K_{2\Delta\alpha})$  «выхода» за пределы интервалов  $K_{2\Delta\alpha} \leq 0,5, K_{2\Delta\alpha} \leq 0,25$  для КСШ, с  $C = 1/10; 1/15$  при различных сочетания коэффициентов трения представлены в таблице 4.

**Конические соединения с натягом (КСН)**, не имеют промежуточного элемента и обеспечивают передачу нагрузки исключительно за счет фрикционного взаимодействия. Обладая значительным индексом самоторможения  $\xi \geq 15$ , КСН не требует применения конструктивных элементов обеспечивающих его фиксацию в осевом направлении. Это позволяет использовать КСН взамен прессовых соединений выполненных по РТМ 24.090.18. При сборке КСН ГП способом охватываемую деталь надвигают на вал с небольшим усилием, затем в зону соединения нагнетают масло и создают осевое усилие на незакрепленную деталь при помощи осевого пресса. По мере перемещения детали давление масла и величина осевого усилия увеличивается. Наибольшее усилие сборки соединения ГП способом меньше, чем при механической запрессовке, в  $(1 + \xi_M)/(1 + \xi_{ГП}) = 7...10$  раз. При ГП способе разборки КС обеспечивается условие  $\xi_{ГП} \leq 1$ , поэтому соединение разбирается без приложения внешних сдвигающих усилий.

При разборке КС ГП способом необходимо соблюдать предосторожность, т.к. так как в этом случае разборка происходит с резким относительным смещением деталей.

При ГП сборке-разборке КСН, как правило, не возникает существенных повреждений сопрягаемых поверхностей, что обеспечивает возможность его повторного использования. Это является одним из преимуществ КСН по сравнению с прессовыми соединениями.

Номинальная несущая способность КСН определяется величиной  $\sigma_n$ . Уровень этих напряжений ограничивается условием прочности на внутренней поверхности охватывающей детали КСН при его демонтаже ГП способом

$$\sigma_{es} \geq \sqrt{\sigma_{r\max}^2 + \sigma_{\theta\max}^2} - \sigma_{\theta\max} \sigma_{r\max}, \quad (12)$$

где  $\sigma_{\theta\max}$ ,  $\sigma_{r\max}$  - максимальные окружные и радиальные напряжения возникают в зоне подводящей канавки.

При  $C = 1/50$ , значения  $\sigma_{\theta\max}$ ,  $\sigma_{r\max}$  рекомендуется определять по эмпирическим зависимостям [4]  $\sigma_{r\max} = 20 + 1,8\sigma_n$  [МПа] и  $\sigma_{\theta\max} = \sigma_{\theta} + \bar{\sigma}_{\theta}$ , где

$\sigma_{\theta}$  - окружные напряжения от натяга,  
 $\bar{\sigma}_{\theta} = 5,4 - 0,623p_m + (13 + 2,564p_m) \frac{l}{\bar{d}}$  - окружные напряжения от деформации охватывающей детали в зоне подводящей канавки,  $p_m$  - давление масла,  $\bar{d}$  - наружный диаметр охватывающей детали КСН.

Необходимо отметить, что вычисления максимальных окружных напряжениях из соотношения  $\sigma_{\theta\max} = p_m \langle C_2 \rangle$ , полученного с учетом формулы Ляме для толстостенного цилиндра, может приводить к существенным ошибкам.

Для КСН с  $C = 1/50$  значения угловых отклонений  $\Delta\alpha$  в зависимости от  $0,6 \leq K_{2\Delta\alpha} \leq 1$  представлены в таблице 5[3]. При этом между угловым отклонением и полем допуска устанавливается взаимосвязь: при одностороннем отклонении,  $\Delta\alpha = AT_{\alpha}$ ; при симметричном отклонении  $\Delta\alpha = AT_{\alpha}/2$ .

С учетом (6) несущую способность КСН определится как

$$T_{2\Delta\alpha} = TK_{2\Delta\alpha} \quad (12)$$

Изменения НС для КСН<sup>(\*\*)</sup> с  $C = 1/50$  представлены в таблице 6.

Обеспечиваемая средствами измерения степень точности угловых отклонений конуса по ГОСТ 8908 составляет:  $AT'_{\alpha} 7, AT'_{\alpha} 8$ -контроль по краске;  $AT'_{\alpha} 5, AT'_{\alpha} 6$ - контроль рычажными приборами.

### Выводы.

Рассмотренные виды конических соединения, способы их контроля и методы расчета позволяют сделать выводы:

- 1) Применение КС позволяют обеспечить существенные преимущества по сравнению с цилиндрическими соединениями;
- 2) Применение КС позволяют обеспечить необходимую несущую способность соединения в заданных конструктивных ограничениях;
- 3) Средства измерения и контроля обеспечивают необходимое качество КС при изготовлении и эксплуатации.
- 4) По широкому кругу показателей качества КСШ по ГОСТ 8838 и КСН могут быть рекомендованы для применения в приводных механизмах грузоподъемных кранов.

### Список литературы

1. Гречищев Е.С., Ильяшенко А.А. Соединения с натягом: Расчет, проектирование, изготовление. -М: Машиностроение,1981.- 247с.
2. РТМ 24.090.18-76 Краны грузоподъемные. Соединения деталей с гарантированным натягом. Методы расчета. 9 с.
3. ГОСТ 8838-81 Соединения конические судовых валопроводов. Типы, конструкция, размеры. .46 с.
4. ОСТ 32.87-96 Расчет и проектирование конических соединений с гарантированным натягом, применяемых в конструкциях локомотивов и путевых машин. Методические указания.76 с.

Таблица 1

Вид КСШ <sub>г</sub>	d, мм	l, мм	d <sub>1</sub> , мм
1	32	58	M20x1,5
2	36		M20x1,5
3	40	82	M24x2
4	45		M30x2
5	50		M36x2
6	56		M36x2
7	63	105	M42x3
8	71		M48x3
9	80	130	M56x4
10	90		M64x4

Таблица 2

Сочетание, l	Покрытие, торец/резьба	$\left(\frac{v_A}{v_r}\right)_l$	
		min	max
1	цинк +масло	0,14	0,24
	цинк	0,32	0,52
2	цинк	0,07	0,1
	цинк +масло	0,14	0,19
3	опора качения	0,02	0,03
	цинк +масло	0,14	0,19

Таблица 3

$\frac{AT'_\alpha}{\sqrt{D_{\Delta\alpha}}}$	Интервал длины l, мм		
$\alpha$	40-63	63-100	100-160
7	60"/10"	50"/8,3"	40"/6,7"
8	100"/16,7"	80"/13,3"	60"/10"
9	150"/25"	120"/20"	100"/16,7"

Таблица 4

Тип КСШ <sub>J</sub>	Степень точности	Сочетания					
		$C = 1/10; \left(\frac{v_A}{v_r}\right)_1; v_z$		$C = 1/10; \left(\frac{v_A}{v_r}\right)_2; v_z$		$C = 1/15; \left(\frac{v_A}{v_r}\right)_2; v_{zГП}$	
		$K_{2\alpha} \leq \frac{1}{2}$	$K_{2\alpha} \leq \frac{1}{4}$	$K_{2\alpha} \leq \frac{1}{2}$	$K_{2\alpha} \leq \frac{1}{4}$	$K_{2\alpha} \leq \frac{1}{2}$	$K_{2\alpha} \leq \frac{1}{4}$
		$P_{K_{2\alpha} \min} - P_{K_{2\alpha} \max}$					
1-2	7	0,05-0,33	0-0,046	0-0	0-0	0-0	0-0
	8	0,24-0,57	0,02-0,25	0,016-0,12	0-0	0-0	0-0
	9	0,44-0,71	0,12-0,45	0,052-0,29	0-0, 032	0-0	0-0
3-6	7	0,23-0,55	0,018-0,23	0,018-0,13	0-0	0-0	0-0
	8	0,45-0,71	0,13-0,45	0,13-0,33	0-0, 058	0-0	0-0
	9	0,62-0,80	0,32-0,62	0,32-0,52	0,046-0, 02	0,02-0,04	0-0
7-8	7	0,35-0,64	0,064-0,35	0,058-0,24	0-0,014	0-0	0-0
	8	0,53-0,75	0,21-0,53	0,20-0,50	0-0,116	0-0,016	0-0
	9	0,71-0,86	0,45-0,71	0,44-0,64	0,124-0,35	0,01-0,114	0-0
9-10	7	0,55-0,81	0,23-0,63	0,24-0,46	0,014-0,13	0-0,02	0-0
	8	0,69-0,87	0,42-0,75	0,44-0,62	0,12-0,32	0,03-0,114	0-0
	9	0,81-0,92	0,63-0,85	0,64-0,76	0,35-0,55	0,18-0,34	0,01-0,06

Примечания: \*- ГП сборки,  $\sigma_n = 100 \text{ МПа}$ , шлифованные поверхности без покрытия,  $v_\theta = 0,21$ ; \*\* - ГП сборки,  $\sigma_n = 120 \text{ МПа}$ , шлифованные поверхности где одна оксидированная,  $v_\theta = 0,31$ , [1].

Таблица 5

$\Delta\alpha [c]$	$K_{2\Delta\alpha}$			
$l/\delta \cdot 10^{-3}$	0,9	0,8	0,7	0,6
0,4-0,5	40	80	200	240
0,5-0,63	32	64	100	200
0,63-0,8	24	50	80	100
8-1,0	20	40	64	80
1,0-1,3	16	32	50	64
1,3-1,7	12	24	40	50

Таблица 6

Соединение	$T_{КСШ}/T_{КСШ}$									
	$КСШ_J^{(**)}$									
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
$КСШ^*$	0,75	0,84	0,76	0,75	0,83	0,83	0,81	0,84	0,83	0,85
$КСШ^{**}$	1,33	1,51	1,38	1,36	1,5	1,5	1,46	1,51	1,5	1,55

**Заярный Сергей Леонидович** – канд. техн. наук, доцент кафедры «Детали машин и подъемно-транспортное оборудование» КФ МГТУ им. Н.Э. Баумана. E-mail: texnakon@yandex.ru.

S.L. Zayarny

## **TO QUESTION APPLICATION OF CONICAL CONNECTIONS IN DRIVE MECHANISMS OF LOADING CRANES.**

Bauman Moscow State Technical University, Kaluga Branch, Kaluga, 248000, Russia

*Constructions and methodologies of calculation are considered conical connections of элементов drive. Influence of structural parameters is considered on bearing strength conical connections and terms of their assembling are sorting out. Possibility is certain more wide applications of conical connections in the drive mechanisms of loading cranes.*

**Key words:** *conical connection, structural parameters, bearing strength, mechanisms of loading cranes.*

1. Grechishchev ES Il'yashenko AA Connection with interference: Calculation, design, manufacture. TH: Mechanical Engineering, 247s, 1981.
2. RTM 24.090.18-76 Cranes. Connection details with guaranteed interference. Methods of calculation. 9 p.
3. GOST 8838-81 Connections conical ship shafting. Types, design, size. .46 s.
4. OST 32.87-96 calculation and design of conical connections with guaranteed interference used in the construction of locomotives and track machines. Metodology.76 s.

**Zayarny Sergey Leonidovich**, Ph. D., Assoc. Professor of Kaluga Branch of Bauman Moscow State Technical University. E-mail: texnakon@yandex.ru.

## **КРИТИЧЕСКИЙ АНАЛИЗ НЕКОТОРЫХ МЕТОДОВ ИСПЫТАНИЙ ЛИФТОВ.**

КФ МГТУ им. Н.Э. Баумана, Калуга, 248000, Россия

*Приёмочные испытания являются этапом первичного контроля готовой продукции, содержание и порядок проведения которых регламентируется нормативной документацией, практически идентичной во всех странах мира. Общепринятым методом доказательства безопасности компонентов являются испытания с нагрузкой выше номинальной. Несмотря на распространение высокоточной электронной аппаратуры, методы испытаний за многие десятилетия остались практически неизменными. В этой связи целесообразным видится рассмотрение некоторых методов испытаний и разработка рекомендаций по их модернизации. На основе известных способов испытания, в статье выделены основные направления совершенствования методов испытаний канатопроводящих шкивов и ловителей. Совершенствование методов приемочных испытаний позволит уменьшать трудоёмкость проведения, более точно определять срок службы узлов, предотвращать возможные угрозы задолго до появления неполадок.*

**Ключевые слова:** приёмочные испытания, канатопроводящий шкив, ловитель, лифт, износ, деформация.

Перед сдачей в эксплуатацию лифты подлежат первичному контролю, сущность которого заключается в проведении приемочных испытаний. Содержание и порядок проведения приемочных испытаний регламентируются нормативной документацией и практически идентичны во всех странах мира. Как и во многих других отраслях промышленности, общепринятым методом доказательства безопасности лифтов и их компонентов и пригодности их к эксплуатации являются испытания под нагрузкой, превышающей номинальную (обычно 125% от номинальной). Несмотря на то, что за последние годы технологии лифтостроения сильно изменились и значительное распространение получили высокотехнологичные датчики и преобразователи, методы испытаний под нагрузкой остались практически неизменными. В частности, действующие отечественные стандарты, например, ГОСТ Р 53781-2010 «Лифты. Правила и методы исследований (испытаний) и измерений при сертификации лифтов. Правила отбора образцов», в значительной мере опираются на европейский стандарт EN81-1 «Safety rules for the construction and installation of lifts», который мало чем отличается от предшествующих за многие десятилетия.

В этой связи целесообразным видится рассмотрение некоторых методов испытаний и разработка рекомендаций по их модернизации. Наиболее важными параметрами, проверяемыми при проведении приемочных испытаний, являются величина тяговой способности канатоведущего шкива и надежность срабатывания устройств безопасности (ловителей).

Величина тяговой способности является основным критерием работоспособности канатоведущего шкива и характеризует способность канатоведущего шкива передавать тяговое усилие от привода на тяговые канаты [1]. Величина тяговой способности зависит от приведенного коэффициента трения между рабочими поверхностями тягового каната и ручьями канатоведущего шкива, а также от угла обхвата его тяговым канатом. Для обеспечения безопасности эксплуатации лифта сила трения между рабочими поверхностями тяговых канатов и ручьев канатоведущего шкива вдоль дуги обхвата тяговым канатом канатоведущего шкива должна превышать наибольшую из разностей между натяжениями канатов со стороны кабины и противовеса для различных положений кабины и противовеса, направления их движения, заполненности кабины и способа уравнивания тяговых канатов и подвесных кабелей.

Изложенная в действующих стандартах методика проверки тяговой способности канатоведущего шкива реализуется следующим образом:

1. В кабине лифта размещают груз, масса которого на 25% превышает номинальную грузоподъемность лифта.
2. Кабину опускают вниз на номинальной скорости.
3. После достижения кабиной номинальной скорости осуществляют отключение привода, сопровождающееся наложением тормоза.
4. Лифт считают выдержавшим испытания, если произошла полная остановка кабины до ее соприкосновения с буферами.

С другой стороны, канатоведущий шкив применяется только при наличии противовеса на втором конце перекинутых через него тяговых канатов. При этом масса противовеса выбирается из условия полного уравнивания кабины и 40-60 % полезного груза (грузоподъемности) [1]. Очевидно, что опускание противовеса вниз с отсоединенными компенсирующими элементами при движении порожней кабины вверх не только исключает необходимость загрузки кабины грузами для проведения испытаний, но и обеспечивает большую разницу в натяжениях ветвей тяговых канатов. Таким образом, испытания при движении противовеса вниз без проскальзывания тяговых канатов эквивалентны испытаниям по методике, изложенной выше, но при этом более удобны для осуществления.

Кроме того, в процессе эксплуатации происходит изнашивание тяговых канатов и ручьев [2] канатоведущего шкива, а также изменение геометрии последних [3]. Это приводит к снижению величины тяговой способности до значения ниже допустимого [4], хотя при проведении приемочных испытаний величина тяговой способности являлась достаточной. Таким образом, целесообразна разработка приемочных испытаний, которая позволяет оценить фактическое значение и величину коэффициента запаса тяговой способности канатоведущего шкива.

Подобная методика была разработана более 30 лет назад МГУП «Мослифт» и проводится в следующей порядке [5]:

1. Определяется масса подвижных частей лифта.
2. Кабина останавливается в своем верхнем положении.
3. При помощи вспомогательной опорной плиты на буфер противовеса устанавливается динамометр для определения усилия сжатия буфера.
4. Производится опускание противовеса на буфер при помощи ручного привода (штурвала) до момента начала проскальзывания канатов по ободу канатопроводящего шкива. В этот момент снимаются показания динамометра.
5. Экспериментальное значение величины коэффициента тяговой способности  $k_{ТС}$  рассчитывается по формуле:

$$k_{ТС} = \frac{(Q_K + Q_{ПК}) \cdot g}{(Q_{П} + Q_{ПК}) \cdot g - P} \quad (1)$$

где:  $Q_K, Q_{П}, Q_{ПК}, Q_{ПК}$  – массы кабины, противовеса, подвесного кабеля и тяговых канатов соответственно, кг;  $P$  – показания динамометра, соответствующие моменту проскальзывания канатов, Н.

К сожалению, эта методика несмотря свои преимущества (в том числе возможность отслеживания величины тяговой способности во времени) не получила широкого распространения ввиду необходимости значительных временных и трудовых затрат.

Используя современные устройства для определения натяжения тяговых канатов, широко представленные многими различными производителями подъемного оборудования, возможно значительно упростить изложенный выше метод [6]. Тогда задача определения фактического значения тяговой способности сведется лишь к снятию показаний с датчиков в момент проскальзывания тяговых канатов по поверхности канатопроводящего шкива. Этот метод не только прост в осуществлении, но и обладает всеми преимуществами метода, предложенного МГУП «Мослифт» – возможностью определения фактического значения коэффициента тяговой способности и отслеживания его изменения во времени, то есть прогнозирование остаточного ресурса. Также на основе данного метода возможна автоматизация контроля за техническим состоянием канатопроводящего шкива.

Целью испытаний ловителей является верификация правильности крепления, регулировки и сборки системы ловителей. Испытания заключаются в проверке факта надежного удержания кабины на направляющих при ее остановке на номинальной скорости с загрузкой, составляющей 125% от номинальной грузоподъемности.

Применительно к ловителям плавного торможения дополнительно контролируется величина ускорения замедления, которая должна составлять 0,2...1,0g для кабины с номинальной загрузкой.

Стоит отметить, что величина ускорения замедления порожней кабины или кабины с загрузкой, составляющей 125% от номинальной грузоподъемности, не регламентируется.



Вероятно, это связано с тем фактом, что ловители должны проходить типовые испытания перед введением их в состав конструкции лифта. Такие типовые испытания для ловителей резкого торможения проводятся с использованием прессы или аналогичного устройства, способного перемещаться без резкого изменения скорости. При этом определяют: пройденное расстояние как функцию силы; деформацию деталей ловителей как функцию силы или пройденного расстояния. Испытания ловителей плавного торможения осуществляются при свободном падении удерживаемого ловителями элемента. При этом определяют: общую высоту падения; длину тормозного пути; величину проскальзывания каната ограничителя скорости; суммарное перемещение упругих элементов.

Условия этих испытаний не охватывают реальные условия эксплуатации лифтов, например, тип смазки или состояние поверхности направляющих.

Кроме того, в лифтах с уменьшенной массой кабины (масса кабины меньше грузоподъемности лифта) величина ускорения замедления порожней кабины превышает величину ускорения свободного падения. Это приводит к тому, что противовес останавливается быстрее кабины, так как он замедляется под действием силы тяжести (ускорение свободного падения). То есть силы неопределенной величины, действующие на тяговые канаты со стороны противовеса, помогают остановить кабину.

То есть в этих случаях условия испытаний не охватывают предписанный стандартом критерий имитации свободного падения кабины.

Опираясь на вышеизложенное можно выделить основные направления совершенствования методов испытаний лифтов:

1. Совершенствование методов испытаний канатопроводящих шкивов на основе обеспечения возможности оценки их технического состояния во времени.
2. Совершенствование методов испытаний ловителей, результатом которых должно стать не только принятие решения «да» или «нет» о работоспособности ловителей, а количественное выражение (например, в виде цифр, таблиц или графиков) резервов безопасности работы ловителей.

## ЛИТЕРАТУРА

[1] Лифты. Учебник для вузов / под общей ред. Д.П.Волкова. М.: Изд-во АСВ, 1999. 480 с.

[2] Витчук П.В., Абрамов Д.Ю. К вопросу о долговечности канатно - блочной системы лифта // Наука и образование: электронное научно - техническое издание. Инженерные науки. #11. URL: [technomag.edu.ru/doc/234034.html](http://technomag.edu.ru/doc/234034.html) (дата обращения: 19.09.2014).

[3] Анцев В.Ю., Витчук П.В. Расчет параметров канатопроводящего шкива лифта в процессе износа // Фундаментальные и прикладные проблемы техники и технологии. 2012. № 2-6 (292). С. 112-118.

[4] Анцев В.Ю., Витчук П.В. Обеспечение долговечности лифтовых канатопроводящих шкивов // Тяжелое машиностроение. 2013. №11-12. С.37-51.

[5] Волков Д.П., Чутчиков П.И. Диагностирование узлов и подсистем лифтов. М.: Стройиздат, 1981. – 132 с.

[6] Диагностирование привода лифта // Известия ТулГУ. Технические науки. Вып. 7. Тула: Изд-во ТулГУ, 2013 -С. 184–194.

**Витчук Павел Владимирович** – канд. техн. наук, доцент кафедры «Детали машин и подъемно-транспортное оборудование» КФ МГТУ им. Н.Э. Баумана. E-mail: zzzventor@ya.ru.

**Грачёва Екатерина Викторовна** – студент КФ МГТУ им. Н.Э. Баумана. E-mail: katya-17.11.92@mail.ru.

**Осницкий Александр Вячеславович** – студент КФ МГТУ им. Н.Э. Баумана. E-mail: Osnizkii-ne-@mail.ru.

**Федоров Александр Васильевич** – студент КФ МГТУ им. Н.Э. Баумана. E-mail: fedorov@nxt.ru

P.V. Vitchuk, E.V. Gracheva, A.V. Osnitskiy, A.V. Fedorov

## **CRITICAL ANALYSIS OF SOME METHODS OF ELEVATOR TESTING.**

Bauman Moscow State Technical University, Kaluga Branch, Kaluga, 248000, Russia

*Acceptance tests are a step in the primary control of finished products, content and procedure of which is regulated by the normative documents, virtually identical in all countries. The generally accepted method of proof of the safety components are tested with a load above rated. Despite the proliferation of high-precision electronic equipment, test methods for many decades remained virtually unchanged. In this connection seems appropriate to consider some of the test methods and the development of recommendations for their modernization. On the basis of the known methods of testing, the article highlights the main directions of improving test methods traction sheave and catchers. Improving methods of acceptance tests will allow to reduce the complexity of more accurately determine the lifetime of the nodes to prevent possible threats long before the problems.*

**Keywords:** *acceptance tests, traction sheave, the catcher, lift, wear, deformation.*

Before commissioning lifts withstand the primary test, the main content of which is performing acceptance tests. The content and procedure of acceptance tests are regulated by standard documentation and are actually identical in all countries. As in many other industries, testing under load, exceeding the rated is used as a common method of proving the safety of lifts and their components and their operability.

Despite the fact that nowadays the technology of lifts production has changed greatly and high-tech sensors and transducers are widely used, the me-

thod of load testing remains unchanged. In particular, the existing home standards such as GOST R 53781-2010 "Lifts. Rules and methods of researches and measurements for the certification of lifts", "Terms of sampling" are mainly based on the European standard EN81-1 « Safety rules for the construction and installation of lifts», which differs a little from the standards of preceding decades.

In this connection it seems appropriate to consider some of the test methods and the development of recommendations for their modernization. The most important parameters, checked during the acceptance test are the traction capability of the rope-traction pulley and the reliable actuation of safety devices.

The value of the traction capability is the main criterion of efficiency of the rope-traction pulley and characterizes the ability to transmit a traction force from the drive to the traction ropes [1]. The value of tractive power depends on the reduced coefficient of friction between the working surfaces of the rope and the traction pulley grooves, as well as the angle of its coverage by the traction rope.

For the reasons of the safe lift operation, force of friction between the working surfaces of traction ropes and the traction pulley grooves along the arc of the traction rope coverage must exceed the highest of the differences between the ropes tension from the cabin and counterweight for the various positions of the cabin and counterweight, the direction of their movement, the cabin filling and method of balancing of the traction ropes and suspension cables.

The method of traction pulley capability testing, given in the applicable standard is performed as follows:

1. The load, the weight of which is 25% higher than the rated capacity of the lift, is placed in the lift.
2. The cabin is lowered down to the rated speed.
3. When the cabin reaches the rated speed the drive is turned off and the brake is actuated.
4. Lift is considered to pass the test if there was a full stop of its cabin before its contact with the buffer.

On the other hand, the rope traction pulley is applied only if there is a counterweight on the second end of traction ropes thrown over it. The mass of the counterweight is selected from the condition of full equilibration of the cabin and 40-60 % payload [1]. It is obvious that the lowering of the counterweight down with detached compensating element in the movement of empty cabins up not only eliminates the need to download the cabin load for testing, but also provides a big difference in the tension of the traction rope branches.

Thus, the test with the counterweight downward movement without traction ropes slipping is equivalent to test methods described above, but it is more convenient to carry.

In addition, during operation traction ropes and grooves [2] of the traction pulley wear, as well as the geometry of the latter is changed [3]. This leads to a decrease in the value of the traction capability to a value below the permissible [4], although during the acceptance test the value of the traction capability is sufficient. Thus, it is necessary to develop the acceptance tests, which can allow us to estimate the actual value of the safety factor of the traction pulley ability.

This technique was developed over 30 years ago by MGUP "Moslift" and is performed as follows [5]:

1. Determine the mass of the lift moving parts
2. The cabin is stopped in its upper position.
3. The dynamometer is mounted by using the auxiliary base plate mounted on the counterweight buffer for determining the compressive force of the buffer.
4. The counterweight is lowered on the buffer using the manual actuator until the rope slipping on the rim of the traction pulley. At this point, readings are taken by the dynamometer.
5. The experimental value of the coefficient of traction capacity is calculated by the formula:

$$k_{TC} = \frac{(Q_K + Q_{IIK}) \cdot g}{(Q_{II} + Q_{IIIK}) \cdot g - P}$$

where  $Q_K$ ,  $Q_{II}$ ,  $Q_{IIIK}$ ,  $Q_{IIK}$  - mass of the cabin, counterweight, suspension and traction rope respectively, kg; P- Dynamometer readings corresponding to the time of ropes slipping, H

Unfortunately, despite its advantages this technique is not widespread because it is time -and labour-consuming one.

The method, described above may be greatly simplified by using modern devices for determining the tension of traction ropes, widely represented in many different manufacturers of lifting equipment. [6]. Then the problem of determining the actual value of the traction capability will be reduced only to the reading of the sensors at the time of the slip of surface traction ropes on the traction pulley. This method is not only easy-to-use, but has all the advantages of the method proposed by MGUP "Moslift" - the ability to determine the actual value of the coefficient of traction ability and track its changes over time, that is the prediction of residual life.

Also based on this method the control of the technical state of the traction pulley can be automatized.

The purpose of the catchers test is to verify the correctness of catchers attachment, adjustment and assembly systems. Test is produced to verify actual fact of safety of the cabin holding on the rails when it is stopped at the rated speed with the load equal to 125% of rated load.

With regard to catcher ramps the value of the deceleration acceleration is tested additionally, which must be 0,2...1,0g for cabins with a nominal load.

It should be noted that the value of the deceleration acceleration of empty cabins or cabins with loading of 125% of rated capacity, is not regulated.

This is probably due to the fact that catchers must undergo the standard tests before putting them into the design of the lift. Such standard tests for catchers of sudden braking are conducted with use of a press or similar device, capable of moving without sudden speed changes.

Herewith, the distance traveled as a function of force; deformation of the catchers parts as a function of force or distance traveled are determined. Tests of catcher ramps are carried by the free fall of the element, being held by the

catchers. The test identifies: the overall height of the fall; stopping distance; the amount of slip of the rope speed limiter; the total displacement of elastic elements.

The conditions of these tests do not represent the real conditions of operation of lifts, for example, the type of lubrication or surface condition of the rails.

In addition, in the lifts with reduced mass cabins, the value of deceleration acceleration of the empty cabin exceeds the acceleration of free fall. This leads to the fact that the cabin will stop counterweight, as it slows down by force of gravity. That is, the power of uncertain value acting on the traction rope with the counterweight side, helps to stop the cabin.

That is, in these cases, the test conditions do not cover a prescribed standard criterion of the cabin free fall simulation.

Based on the above, you can identify the main directions of improving the methods of lifts testing:

1. Improvement of test methods of the traction pulley to allow evaluation of their technical condition over time.

2. Improvement of the catchers testing, the result of which should be not only the decision "yes" or "no" about the catchers efficiency, but the quantitative demonstration showing the safety limits of the catchers.

## REFERENCES

[1] Elevators. Textbook for high schools / under the general editorship. D.P.Volkova. M.: of DIA, 1999. 480 p.

[2] Vitchuk PV, D. Abramov To a question about the durability of the elevator rope -blochnoy // Science and Education: Science -maintenance electronic edition. Engineering sciences. # 11. URL: [technomag.edu.ru/doc/234034.html](http://technomag.edu.ru/doc/234034.html) (date accessed: 19/09/2014).

[3] Antsev VY, Vitchuk PV Calculation of parameters of the traction sheave elevator during wear // Fundamental and applied problems of engineering and technology. 2012. № 2-6 (292). p. 112-118.

[4] VY Antsev, Vitchuk PV Ensuring the longevity of elevator traction sheave // Heavy Machinery. 2013. №11-12. p.37-51.

[5] Volkov, DP, Chutchikov PI Diagnosing units and subsystems elevators. M.: Stroyizdat, 1981 - 132 p.

[6] The diagnosis of elevator drive // News TSU. Engineering science. MY. 7 Tula Univ TSU, 2013 p. 184-194.

**Vitchuk Pavel V.**, Ph. D., Assoc. Professor of Kaluga Branch of Bauman Moscow State Technical University. E-mail: [zzzventor@ya.ru](mailto:zzzventor@ya.ru).

**Grachev Catherine V.**, student of the Kaluga Branch of the Bauman Moscow State Technical University. E-mail: [katya-17.11.92@mail.ru](mailto:katya-17.11.92@mail.ru).

**Osnitsky Alexander V.**, student of the Kaluga Branch of the Bauman Moscow State Technical University. E-mail: [Osnizkii-ne-@mail.ru](mailto:Osnizkii-ne-@mail.ru).

**Fedorov Alexander V.**, student of the Kaluga Branch of the Bauman Moscow State Technical University. E-mail: [fedorov@nxt.ru](mailto:fedorov@nxt.ru).

## **МНОГОФУНКЦИОНАЛЬНЫЙ КОМПЛЕКС ДЛЯ ВОССТАНОВЛЕНИЯ И РЕМОНТА КОНТАКТНОЙ СЕТИ НА ЖЕЛЕЗНОЙ ДОРОГЕ**

КФ МГТУ им. Н.Э. Баумана, Калуга, 248000, Россия

*В предложенной статье рассматривается вопрос о развитии, распространении и поддержании работоспособного состояния электрифицированных участков железной дороги в развивающихся странах. На примере многофункционального комплекса, состоящего из автомотрисы АКС-01 и платформы со специализированным оборудованием для установки фундаментов анализируется концепция применения винтовых свай различного исполнения. Проведено сравнение широко применяемых в настоящее время забивных свай и современной технологии винтовых свай в фундаментах опор. Рассмотрены существующие решения для выполнения законченного цикла работ на перегонах. Предложена концепция многофункционального комплекса по поддержанию состояния, ремонту и монтажу контактной сети электрифицированных участков железной дороги повышающего эффективность выполнения работ по замене опор контактной сети на железной дороге и сокращающего время закрытия перегона.*

**Ключевые слова:** Опоры, сваи, завинчивание, восстановление, оперативность, многофункциональный, комплекс, автомотриса, платформа.

**Введение.** В настоящее время в 68 странах мира эксплуатируются электрифицированные железные дороги. В частности, их протяженность в России составляет 43300 км, в Германии - 21000км, в Индии, Японии и Франции - 18810, 16970 и 15220 км, соответственно. США обладают самой протяженной в мире сетью железных дорог, составляющей 226427 км. На электрической тяге осуществляется более 50% всех грузовых перевозок, удельный вес пригородных пассажирских перевозок электропоездами возрос до 77%. В мире электрификации уделяется огромное значение. В Швейцарии электрифицировано почти 100% ж. д. (около 3000 км), в Швеции — свыше 60% (более 7500 км), в Италии — около 50% (более 8000 км).

Интенсивное развитие электрифицированных железных дорог объясняется несколькими причинами. Одной и самой важной является себестоимость перевозок, которая складывается из стоимости обслуживания локомотива, цены энергоносителя (дизельное топливо, электроэнергия), а также эффективности используемой тяги – КПД электровозов выше, чем КПД тепловозов.

Перед железнодорожниками стоят серьезные задачи, как по строительству новых электрифицированных участков, так и по обслуживанию, ремон-

ту и поддержанию в работоспособном состоянии существующих электрифицированных линий. Это приобретает особую актуальность в связи с увеличением износа контактной сети, который в настоящее время составляет до 27%.

**Фундаменты опор контактной сети.** Контактная сеть — техническое сооружение электрифицированных железных дорог, служащее для передачи электроэнергии с тяговых подстанций на электроподвижной состав. Основными элементами воздушной контактной сети являются опоры и опорные конструкции. (Рис.1.) Основанием для них могут служить фундаменты или сваи. В качестве свай в настоящее время применяются забивные сваи. [1]



Рис.1 Возведение опор контактной сети на железной дороге

Забивные сваи выполнены из железобетона и различаются диаметром и сечением. Забивка свай осуществляется с помощью строительной спецтехники. Забивные сваи – популярное решение на современных стройках, так как обладают «побочным эффектом» в виде уплотнения грунта.

В процессе эксплуатации могут случаться чрезвычайные ситуации, такие как сход подвижного состава, повреждение опор и другие, что требует оперативного проведения работ по их замене либо восстановлению. Это обусловлено ограничением по времени закрытия перегона, поэтому использование свай является наиболее предпочтительным. Исходя из этого, актуальной задачей является выбор наиболее оптимального способа установки свай для опор контактной сети.

Наряду с погружными сваями в промышленном и гражданском строительстве всё чаще используются винтовые сваи.[2] Винтовая свая представляет собой стальную трубу, нижняя часть которой оснащена режущими лопастями определенной формы. Лопасть служит для распределения усилия от опоры на большую площадь грунта и препятствует вырыванию сваи силами морозного пучения. Лопасть позволяет преобразовать вращательный момент в поступательное усилие во время погружения сваи, благодаря чему она как шуруп вкручивается в грунт на необходимую глубину.

Проведем сравнительный анализ таких способов погружения как за-винчивание и вибропогружение по нескольким параметрам: несущей способности, времени затрат и трудозатрат.

В таблице 1 приведены основные параметры оценки двух способов погружения свай.

Таблица 1

Параметры оценки свай

Расчетные показатели	Винтовые сваи	Сваи для вибро-погружения
Глубина завинчивания, м	4,5	4,5
Масса рабочего оборудования, т	1,5	2,0
Несущая способность $F_d$ , кН	72,6	79
Вагонная норма, шт	40	16(24)
Время погружения, мин	5	20
Стоимость сваи, руб	800	2000
Срок службы, лет	100	50

Анализ данных (табл.1) позволяет сделать вывод, что метод завинчивания свай применительно к установке опор контактной сети на железной дороге наиболее оптимален. Винтовые сваи способны заменить бетонные фундаменты. Преимуществами промышленных винтовых свай являются скорость монтажа и возможность завернуть сваи в плотный глубинный грунт.

Винтовые сваи по своей конструкции могут быть выполнены с упрощенной винтовой линией, также существует вариант с усиленной винтовой линией производства КСАмет. Первый вид конструкции свай широко применяется при строительстве, но не рекомендуются использовать при строительстве высотных сооружений, так как имеют низкое сопротивление боковым горизонтальным нагрузкам. Винтовые сваи КСАмет предназначены для капитального строительства. Структура винта позволяет использовать их в качестве фундаментов в особо ветреных зонах Российской Федерации (Рис.2.) [3]



Рис.2. Винтовая свая КСАмет в центре и две упрощенных винтовых сваи по краям

В таблице 2 приведено сравнение винтовых свай по основным характеристикам.



Сравнение винтовых свай

Параметр сравнения	Упрощенные винтовые сваи	Усиленные винтовые сваи КСАмет
Конус сваи	Квадратного сечения. 4 лепестка	Сечение круг. 6 равновеликих лопастей
Конструкция винта	1 виток. Не полное перекрывание лопастей	1,5 полноценных витка. Перекрывание винтов на длине в 460 мм
Заходная лопасть	Отсутствует	Заходная лопасть переменного радиуса скругления
Основная лопасть	290-300мм в диаметре. За счет набегания на конус рабочая плоскость овальной формы.	300мм. Точность формы окружности обеспечена набеганием заходного пера на конус. Переход с заходной лопасти на основную происходит на поверхности трубы
Длина винтовой линии	10-12 см	34 см

Сравнительный анализ двух конструкций винтовых свай позволяет сделать вывод о предпочтительном применении свай с усиленной винтовой линией при значительных нагрузках и сложных условиях эксплуатации. Они могут составить серьезную конкуренцию используемым в настоящее время забивным сваям. А с точки зрения оперативности, надежности и долговечности они превосходят показатели названных свай. Поэтому использование винтовых свай КСАмет при проведении восстановительных работ наиболее предпочтительное.

**Концепция предлагаемого многофункционального комплекса.** При текущем содержании, ремонте и восстановлении контактной сети, выполняются следующие виды работ: замена отслуживших свой срок опор контактной сети; замена вышедших из строя как опор, так и свай, на которые они монтируются; замена контактного провода, достигшего предельного износа; замена несущего троса, арматуры, усиливающего провода в случае их повреждения. [4] Для этих целей отечественными производителями выпускаются специальные установочные поезда, состоящие из локомотива, железнодорожного крана, платформы для расположения стрелы крана, двух четырехосных платформ, на которых размещаются опоры и фундаменты, крытого вагона, малоковшового котлованокопателя, вибропогружателя для свайных фундаментов и комплекта механизмов для засыпки и уплотнения грунта в котлованах. При установке опор с поля, а не с железнодорожного пути используют автомобили повышенной проходимости, котлованокопатель на тракторном ходу, автокраны, бульдозеры и другие строительные механизмы.

Для восстановления контактной сети и выполнения связанного с этим всего комплекса работ (установка свай, замена опор, раскатка контактного провода) предлагается разработать многофункциональный комплекс (Рис.3).

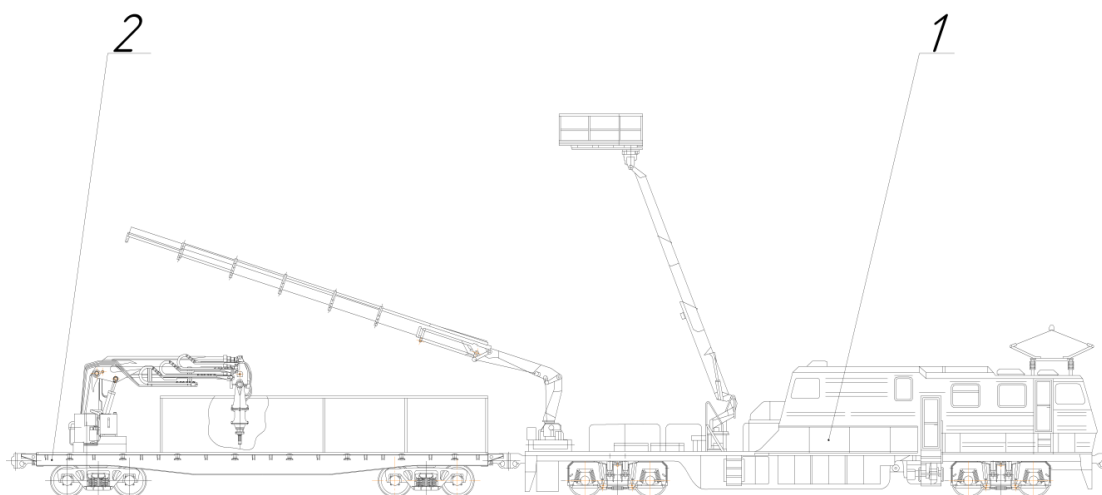


Рис. 3 Многофункциональный комплекс:  
1- автомотриса на базе автомотрисы АКС-01, 2- несамоходная платформа.

Комплекс состоит из двух модулей: модернизированной автомотрисы (1) на базе автомотрисы АКС-01 производства ОАО «Калужский завод «Ремпутьмаш» и предлагаемой нами несамоходной платформы (2) на базе грузовой 4-хосной платформы 13-401 грузоподъемностью 63 тонны. На платформе автомотрисы размещены манипулятор фирмы TIRRE для монтажа опор контактной сети, для обслуживания грузовой платформы комплекса и подачи расходных материалов в зону работы манипулятора и телескопический подъемник с поворотной площадкой, служащий для монтажных, аварийно-строительных, аварийно-восстановительных работ с обесточенными воздушными контактными проводами. Для энергообеспечения тягового двигателя и питания всех систем автомотрисы АКС-01 переменным током в случае повреждения или обрыва контактной сети установлен дизель-генератор. Аутригеры, установленные на автомотрисе, предназначены для придания устойчивости её раме и разгрузке рессорного подвешивания при работе манипулятора фирмы TIRRE.

На несамоходной платформе (2) располагаются установка УБМ-85 (5) производства ОАО «Стройдормаш» г.Алапаевск для завинчивания свай под опоры контактной сети и открытый контейнер для транспортировки опор контактной сети (6). Установка УБМ-85 оснащена гидромотором, питание которого может осуществляться двумя способами: от гидростанции автомотрисы через соединительные рукава либо от гидростанции, установленной на несамоходной платформе, питающейся от электроэнергии автомотрисы. Установленные в зоне работы УБМ-85 аутригеры и жесткая блокировка платформы и автомотрисы необходимы для повышения устойчивости при монтаже свай. [5]

**Выводы.** Применение данного комплекса позволит сократить время закрытия перегона и сократить количество путевой техники при выполнении работ, связанных с устранением последствий аварии или крушения подвижного состава. Оперативность и мобильность предлагаемого комплекса, многофункциональное оборудование, установленное на автомотрисе, позволят выполнять не только ремонтно-строительные работы, но и инспекционно-диагностические работы, текущий осмотр контактной сети.

## ЛИТЕРАТУРА

- [1] Борц Ю.В., Чекулаев В.Е. Контактная сеть. — М.: Транспорт, 2001.  
[2] Железков В.Н. Винтовые сваи. — С-П.: Прагма, 2004. — с.61-77  
[3] Технические статьи «ВСК — фундаменты на винтовых сваях КСАмет» URL: <http://vsksamet.ru/category/informacionnye-stati/tehnicheskie-stati/> (дата обращения 01.10.2014)  
[4] Ерохин Е.А. Монтаж и капитальный ремонт контактной сети и воздушных линий. — М.: ГОУ «Учебно-методический центр по образованию на железнодорожном транспорте, 2007.  
[5] Универсальная бурильная машина УБМ-85 URL: <http://sdm-zavod.ru/products/manipulyatory-dlya-bureniya-i-pogruzheniya-vintovyh-svay/ubm-85> (дата обращения 03.09.2014)

**Рыжкова Анастасия Дмитриевна** – студент КФ МГТУ им. Н.Э. Баумана. E-mail: stasyakatina@gmail.com.

**Шубин Александр Анатольевич** – канд. техн. наук, доцент кафедры «Детали машин и подъемно-транспортное оборудование» КФ МГТУ им. Н.Э. Баумана. E-mail: shubin55@mail.ru.

A.D. Ryzhkova, A.A. Shubin

## MULTIFUNCTIONAL COMPLEX FOR RESTORATION AND REPAIR OF THE CONTACT NETWORK ON THE RAILWAY

Bauman Moscow State Technical University, Kaluga Branch, Kaluga, 248000, Russia

*In this article we discuss the issue of the development, distribution and maintenance of a healthy state of electrified railway sections in developing countries. On the example of a multifunctional complex, which consists of a railcar AKS-01 platforms with specialized equipment for the installation of foundations analyzed the concept of using screw piles in various versions. A comparison of commonly used currently driven piles and modern technology of screw piles in foundations supports. The existing solutions to perform a complete cycle of works on stages. The concept of a multifunctional complex for the maintenance of the status, repair and installation of the contact system of electrified railway sections enhancing the effectiveness of work on the replacement of catenary poles on the railroad and reduce closing time stage.*

**Keywords:** supports, piles, screwing, rebuilding, efficiency, multifunctional, complex, railcar, platform.

**Ryzhkova Anastasiya Dmitrievna**, student of the Kaluga Branch of the Bauman Moscow State Technical University. E-mail: stasyakatina@gmail.com.

**Shubin Alexander Anatolyevich**, Ph. D., Assoc. Professor of Kaluga Branch of Bauman Moscow State Technical University. E-mail: shubin55@mail.ru.

## **СРАВНИТЕЛЬНАЯ ОЦЕНКА ПОКАЗАТЕЛЕЙ КАЧЕСТВА СОЕДИНЕНИЙ ЭЛЕМЕНТОВ ПРИВОДНЫХ МЕХАНИЗМОВ ГРУЗОПОДЪЕМНЫХ КРАНОВ**

КФ МГТУ им. Н.Э. Баумана, Калуга, 248000, Россия

*Рассмотрены соединения элементов привода крановых механизмов и определены их показатели качества. Предложена методика определения обобщенного показателя качества соединения. Проведена сравнительная оценка соединений по обобщенному показателю качества.*

**Ключевые слова:** *соединение, обобщенный показатель качества, крановый механизм.*

**Введение.** В приводных механизмах грузоподъемных кранов в качестве соединений элементов привода (СЭП) применяются шпоночные и шлицевые соединения, а также соединения с натягом [1,2]. Эти соединения обладают различными конструктивными и технологическими особенностями. В предлагаемой статье сделана попытка сравнить эти соединения по широкому кругу показателей определяющих их качество.

**Конструкция, способы изготовления, контроля, сборки, ремонт и восстановление** являются важными показателями качества СЭП. Эти показатели существенно различаются в зависимости от вида СЭП.

**Соединения с призматической шпонкой (СШ)** широко применяются в крановых механизмах, они просты в изготовлении и технологичны с точки зрения их монтажа-демонтажа[1] и регламентируются по ГОСТ 23360. Их недостатками являются: перекосов и смещения пазов; тангенциальных деформаций под нагрузкой; концентрация напряжений. Точность центрирования деталей в СШ обеспечивается посадкой втулки на вал с натягом  $H7/p6$ ;  $H7/s7$ ;  $H7/n7$ ; и  $H7/k6$ .

Изготавливаются СШ на универсальном оборудовании с контролем универсальным или специальным измерительным инструментом.

Сборка СШ обеспечивается механической запрессовкой или нагревом охватывающей детали, в зависимости от величины натяга.

**Шлицевые соединения (ШС)**, по сравнению со СШ, применяются в крановых механизмах значительно реже [1], хотя и имеют более высокую несущую способность (НС), меньшие габариты и лучшее центрирование.

Для изготовления ШС требуется специальное оборудование, а их контроль обеспечивается специальным измерительным инструментом. Сборка ШС осуществляется механической запрессовкой.

**Соединения с натягом (СН)** обеспечиваются за счет напряженной посадки охватывающей детали (втулки или ступицы) на вал. Они просты по конструкции, технологичны в изготовлении и имеют высокую НС при статических и динамических нагрузках. Однако применения СН в крановых механизмах без дополнительного крепления не рекомендуется [2].

Для изготовления СН используется универсальное оборудование, а их измерение обеспечивается как универсальным, так и специальным, измерительным инструментом.

Сборка и разборка СН обеспечивается механической запрессовкой, а также термическим или гидропрессовым способом.

К недостаткам СН принято относить: повреждаемость и высокую трудоемкость сборки и разборки при больших натягах; отсутствие жесткой, визуально контролируемой, фиксации деталей в направлении нагрузки.

**Комбинированные соединения (КС)**, можно определить как  $КС \Leftrightarrow СШ + СН$ . Их применение вызвано опасением быстрого ослабления ненапряженное СШ при реверсивной нагрузке [2].

При натягах  $H7/p6, H7/s7, H7/n7$ , шпонка в КС по существу выключается из работы и оказывается резервным элементом, обеспечивающим визуально контролируемую жесткую фиксацию соединения в окружном направлении. Расчет КС ведется по схеме расчета СН.

**Ремонт и восстановление СЭП** выполняется способом наплавки материала. Однако в случае СШ, КС и ШС этот способ не является технологичным, по причине прерывистости их сопрягаемых поверхностей (СП).

**Нагружение СЭП** характеризуется соотношением между его статической и динамической составляющими, зависит от вида крана, его загрузки и типа привода [3]. Особенности нагружения СЭП в значительной степени определяют значимость различных показателей его качества. Наличие зазоров в элементах привода вызывает его ударное нагружение.

**Работа СЭП** при передаче различных видов нагрузки, определяет условия их трансформирования в различные показатели их качества. СЭП в общем случае может быть представлена в виде системы состоящей из трех элементов: охватываемая деталь, эквивалентный слой (ЭС), охватывающая деталь [4]. При этом в качестве ЭС рассматривается виртуальное пространство, свойства которого в пределах сопряжения деталей, определяются взаимодействием элементов СЭП. В зависимости от вида СЭП этими элементами являются: шпонка, грани шпоночного паза, сопрягаемые поверхности деталей; гран шлицов вала и втулки; сопрягаемые поверхности формирующие стык соединения с натягом, при этом стык рассматривается как «третье тело», имеющее особые физико-механические свойства.

Характеристики ЭС в СШ и ШС характеризуются неравномерным распределением нагрузки как по высоте сечения, так по длине шпонки или шлицев. Это вызывает упругопластическое смятие рабочих граней шлицев, пазов и шпонки и их закручивание, особенно при наличии зазора между валом и ступицей. При этом коэффициент концентрации нагрузки опреде-

ляется как  $K_F = F(z=0)/F(z=l)$ , что ограничивает эффективную длину соединения условием  $l \leq 1,5d$ .

**Расчет СЭП** проводится в зависимости от сочетания статической и динамической составляющей (удар и реверсирование) нагружения [4,5,6,7,8]. В случае динамического нагружения принимается: СН имеет нелинейную характеристику ЭС и является условно неподвижным соединением; СШ и ШС имеют существенно нелинейные характеристики ЭС и являются условно подвижными соединениями.

**Условие прочности СШ при динамических нагрузках** определяется условием недопущения существенной подвижности стыка. Это условие для СШ тождественно условию смятие шпонки в зоне контакта

$$\tilde{M}_K \leq [\sigma]_{CM} \frac{dl_p t_2}{2} 10^{-6} \quad (1)$$

где  $l_p$  - рабочая длина шпонки;  $d$  - диаметр вала;  $t_2 = 0,4h$  - глубина врезания шпонки в ступицу;  $h$  - высота шпонки;  $[\sigma]_{CM} = \sigma_T \gamma_d$  - допускаемые напряжения на смятие;  $\sigma_T$  - предел текучести материала слабого звена (вал, ступица, шпонка);  $\gamma_d = 0,5 \dots 0,8$  - коэффициент надежности в зависимости от степени достоверности нагрузки.

Для СШ, применяемых в крановых механизмах, допускаемые напряжения смятия, в зависимости от вида нагрузки (постоянная, реверсивная, ударная) и режимов работы (средний, тяжелый), принимаются в пределах  $[\sigma]_{CM} = 50 \dots 165 \text{ МПа}$ ,

**Условие прочности СШ при статической нагрузке** может быть определено как

$$\bar{M}_K \leq [\tau] \frac{dl_p b}{2} \gamma_n \gamma_d 10^{-6} \quad (2)$$

где  $[\tau] = \frac{2}{3} \sigma_T \gamma_m$ ,  $\gamma_n = 0,95$  - коэффициент надежности по назначению,  $\gamma_d = 0,7$  - коэффициент надежности по условиям работы,  $\gamma_m = 0,9$  - коэффициент надежности по материалу.

**Условие прочности ШС при динамических нагрузках** также как и для СШ является условием недопущения его существенной подвижности. Это условие для ШС тождественно условию смятия граней шлицев

$$\tilde{M}_K \leq [\sigma]_{CM} zhl \frac{\langle d_w \rangle}{2} \gamma_n \gamma_d \psi \cdot 10^{-6}, \quad (3)$$

где,  $\psi = 0,7 \dots 0,8$  - коэффициент неравномерности нагрузки,  $\langle d_w \rangle$  - средний диаметр шлицевой части вала.

В зависимости от вида термообработки, числа зубьев и их высоты (ГОСТ 1139) допускаемые напряжения смятия для ШС в крановых механизмах изменяются в широких пределах  $[\sigma]_{CM} = 35 \dots 200 \text{ МПа}$ .

**Условие прочности ШС при статической нагрузке** определяется условием прочности на кручение шлицевой части вала

$$M_K \leq [\tau] W_{nl} \gamma_n \gamma_d \cdot 10^{-6}, \quad (4)$$

где  $W_{nl}$  - пластический момент сопротивления вала.

Разрушения шлицевой части вала ШС предшествует износ шлицов.

**Условие прочности СН** определяется как

$$M_K = p \nu \lambda \frac{\pi d^2 l}{2} \gamma_n \gamma_d \cdot 10^{-6} \quad (5)$$

где  $p = p(w, k)$  - среднее давление, рассчитываемое с учетом коэффициента погрешности формы  $w$  СП и геометрических параметров сопрягаемых деталей  $k$ ;  $\nu$  - коэффициент трения;  $\lambda$  - коэффициент учитывающий степень неподвижности соединения.

Степень неподвижности стыка СН определяется условиями его деформирования и составляет:  $\lambda \leq 0,2$  - условная неподвижность СН, упругое деформирование стыка (условие фреттингостойкости);  $\lambda = 0,2 \dots 0,5$  - пластическое деформирование части стыка (условие развития умеренной фреттинг - коррозия);  $\lambda = 0,5 \dots 0,75$  - пластическое деформирование стыка и проскальзывание его части (условие развития существенной фреттинг - коррозия);  $\lambda = 1$  - разрушению СН (скольжение по всей поверхности стыка),  $\lambda = 1$ . Минимальные значения коэффициентов трения, определенные с доверительной вероятностью 0,95 для различных условий сборки соединений и подготовки СП составляют  $\nu = 0,208 \dots 0,384$ .

На рис.1,2,3 представлены графики изменения несущей СН в зависимости от вида нагрузки. Из их сравнения видно, что НС СН существенно превосходят НС ШС и ШС при реверсивных и ударной нагрузках, однако уступает НС ШС по условию разрушения при статических нагрузках.

**Концентрация напряжений** в значительной степени определяет усталостную прочность СЭП [5,7,8], что является важным показателем его качества.

**Эффективные коэффициенты концентрации напряжений** для различных СЭП, в зависимости материала вала, вида, размеров и способа изготовления, изменяются в пределах: для СШ  $K_r = 1,27 \dots 2,25$ ,  $K_\sigma = 1,3 \dots 2,26$ ; для ШС  $K_r = 1,4 \dots 2,8$ ,  $K_\sigma = 1,35 \dots 1,75$ ; для СН  $K_\sigma = 2,15 \dots 2,42$ .

**Упрочнение СП** определяет возможность повышение усталостной прочности СЭП технологическими и конструктивными методами [5,7,8], что характеризует возможность повышения этого показателя качества.

**Упрочнения СШ и ШС** ограничивает по причине прерывистости СП. Поэтому их упрочнение возможно обеспечить главным образом применением термической (закалка ТВЧ  $\beta_{yup} = 3,5$ ) и химико-термической (цементация, азотирование  $\beta_{yup} = 1,8 - 3$ ) обработок.

**Упрочнение СН** обеспечивается по гладкой СП. Это определяет их преимущество, по сравнению со СШ и ШС и обеспечивает возможность применения более широкого спектра упрочнений: конструктивное упрочнение, поверхностное пластическое деформирование, нанесение покрытий и т.д.

К конструктивному упрочнению СН, обеспечивающему  $\beta_{\text{упр}} = 1,03 - 1,51$ , относятся: 1) введение утоненного пояса у края ступицы; 2) утолщение подступичной части; 3) разгружающие выточки на валу; 4) изготовление ступицы конической формы; 5) введение разгружающих выточек у торца ступицы.

Поверхностное пластическое упрочнение обеспечивает  $\beta_{\text{упр}} = 1,8 - 2,42$ .

**Шероховатость** СП валов также в значительной степени определяет их усталостную прочность [5,7,8] и следовательно влияет на показатель качества СЭП. Коэффициент влияния вида обработки и состояния СП может быть определен через различные параметры, в частности:  $\beta = \sigma'_{-1} / \sigma_{-1}$ , где  $\sigma_{-1}, \sigma'_{-1}$  - сопротивление усталости полированного образца и образца с заданной шероховатостью;  $\beta = (Rz_2 / Rz_1)^n$ , где  $Rz_1, Rz_2, n$  - параметры шероховатости СП и эмпирический коэффициент;  $\beta = \sigma'_{-1} / (0,55 - 0,001\sigma_{\sigma}) \sigma_{\sigma}$ , где  $\sigma_{\sigma}$  - предел временного сопротивления материала. Оценки пределов выносливости деталей с концентрацией напряжений в зависимости от качества обработки СП определяется как

$$K_{\sigma Д} = \frac{\sigma_{-1}}{\sigma_{-1Д}} = \frac{K_{\sigma}}{\varepsilon_{\sigma}} + \frac{1}{\beta} - 1 \quad (5)$$

**Деградация (изнашивание и коррозия)** СП деталей СЭП определяется изменением в процессе эксплуатации ее расчетных параметров [5,9] и является важным показателем качества.

**Деградация СШ** характеризуется изнашиванием СП соединений, что связано с практически неизбежными циклическими смещениями деталей соединения. Это приводит к ослаблению посадок, а также возникновению усталостные трещины в местах концентрации.

**Деградация ШС** характеризуется изнашиванием шлицев под действием радиальной нагрузки, в результате несовпадения или взаимного наклона осей при действии крутящего момента. Начальный монтажный перекос может возрастать в работе за счет тепловых деформаций и изменения взаимного расположения деталей под нагрузкой. Изнашивание ШС происходит более интенсивно при развитии на СП контактной коррозии, которая проявляется даже в соединениях с высокой твердостью СП ( $45 - 55 HRC_3$ ) при сравнительно невысоких средних контактных напряжениях ( $\sigma_{см} = 50 MPa$ ). ШС выходят из строя в основном вследствие изнашивания боковой рабочей поверхности.

Условный расчет на износостойкость можно проводить по допустимой удельной мощности трения определяемой как

$$N = v\tau \cdot 10^{-3} \left[ \frac{вт}{мм^2} \right] \quad (6)$$

где  $\tau = k_{мп} \sigma_{см}$  - касательные контактные напряжения,  $k_{мп}$  - коэффициент трения скольжения. Мощность трения, при которой практически отсутствует износ, можно, в зависимости наличия смазки, определяется как:

$$N \leq (0,6 \dots 1) 10^{-3} HRC_3 \left[ \frac{вт}{мм^2} \right] \quad (7)$$



**Деградация СН** характеризуется изнашиванием СП и определяется эпюрой контактных напряжений, которая зачастую не «покрывает» эпюры касательных напряжений от нагрузки. Благоприятная эпюры контактных напряжений, способствующая снижению повреждаемости СП фреттинг-коррозией, может быть обеспечена конструкционным упрочнением СН [8]. При этом влияние коррозии учитывается коэффициентом  $\beta_{кор} = \sigma_{-1} / \sigma_{-1кор}$ .

Для расчета пределов выносливости деталей с коррозией и концентраторами напряжений используется соотношение

$$K_{\sigma D} = \sigma_{-1} / \sigma_{-1Дкор} = \frac{K_{\sigma}}{\varepsilon_{\sigma}} + \frac{1}{\beta_{кор}} - 1 \quad (8)$$

где  $\sigma_{-1Дкор}$  - сопротивление усталости образца с коррозией.

**Комбинированное соединение** обеспечивает, по мере увеличения натягов, передачу все большее значительную часть момента за счет сил трения. При этом уменьшается роль концентрации напряжений от шпоночного паза, и трещины образуются в местах наиболее интенсивного фреттинга, у края напрессованной ступицы.

**Диагностика и контроль СЭП** является важным фактором их технологической, производственной и эксплуатационной надежности, а, следовательно, и важным показателем их качества.

**Прямой метод контроля** применим для всех видов СЭП и обеспечивается путем контролируемого нагружения соединения.

**Косвенный метод контроля** возможен путем измерения наружного диаметра втулки прессового соединения до и после сборки. С помощью ультразвука можно определить изменение уровня отражения сигнала в различных точках области сопряжения прессового соединения и дать сравнительную оценку давления.

**Оценка параметров качества** является важной составляющей процесса проектирования оптимальных для заданных условий применения СЭП. Оценка может быть количественной или качественной. Локальные критерии,  $k_{\{p\}i} \rightarrow \max(\min)$ , позволяют оценить СЭП по конкретному признаку, но не дают возможности оценить его в целом. Выбор наиболее эффективного варианта СЭП требует решения задачи многокритериальной оптимизации и применения обобщенных критериев[10].

Линейная свертка локальных критериев, с введением обобщенного критерия  $K_{\{p\}} = \sum_n c_i k_{\{p\}i}$ , где  $c_i$  - весовые коэффициенты,  $\sum_n c_i = 1$ ., является простейшим способом сведениям многокритериальной задачи к однокритериальной.

Такой подход вводит по существу отношение эквивалентности критериев. Величина  $c_i = \partial K_{\{p\}} / \partial k_{\{p\}i}$  характеризует «чувствительность» обобщенного критерия к изменениям локальных критериев.

В нашем случае обобщенный критерий  $K_{\{p\}}$  может быть определен как обобщенный показатель качества СЭП.

**Определение весовых коэффициентов** является сложной задачей. Основаниями для их определения могут быть: статистический анализ, экспертная оценка, имитационный эксперимент. При этом факторами влияющими на значения весовых коэффициентов являются: условия эксплуатации, преобладающая нагрузка, установленная долговечность, уровень ответственности, объем производства; и т.д.

Вариант обобщенной оценки показателей качества для различных СЭП применяемых в крановых механизмах представлены в таблице. Обобщенная оценка выполнялась на основании оценок рассмотренных критериев качества СЭП, при этом их весовые коэффициенты составляли  $c_i = const = 1/13$ . Соответствие между качественной и балльной оценками критериев качества определялось условиями: «хорошо» - 4; «удовлетворительно» - 3; «плохо» - 2.

**Выводы.** В приводных механизмах грузоподъемных кранов могут применяться различные СЭП. Эти соединения обладают конструктивными, технологическими особенностями, что делает необходимым сравнение уровней их качества по широкому кругу показателей. Уровень качества СЭП может быть оценен обобщенным показателем качества, получаемым линейной сверткой локальных критериев имеющих весовые коэффициенты. Весовые коэффициенты необходимо определять с учетом конструктивных, технологических и эксплуатационных особенностей СЭП, что позволит получать обоснованные показатели качества применительно к конкретным условиям их работы.

### Список литературы

1. Александров Н.П. Грузоподъемные машины: Учебное пособие. - М.: Изд-во МГТУ.2000.-552с.
2. РТМ 24.090.18-76 Краны грузоподъемные. Соединения деталей с гарантированным натягом. Методы расчета. 9 с.
3. Лобов Н.А. Динамика передвижения крана по рельсовому пути: Учебное пособие. -М.: Изд-во МГТУ.2003.-232с.: ил.
4. Иосилевич Г.Б. Детали машин: Учебник для вузов. -М.: Машиностроение. 1988.-368 с.: ил.
5. Биргер И.А. Расчет на прочность деталей машин: Справочник.-М.: Машиностроение, 1993.-690 с.: ил.
6. Гречищев Е.С., Ильяшенко А.А. Соединения с натягом: Расчет, проектирование, изготовление. -М: Машиностроение,1981.- 247с.
7. Детали машин. Расчет и конструирование. Справочник, том1. Под ред. Н.С. Ачеркана, М.- Машиностроение, 1968,- 440с.
8. Когаев В.П. Расчет на прочность при напряжениях, переменных во времени. -М.: Машиностроение, 1977.-232 с.: ил.
9. Уотерхауз Р.Б. Фреттинг-коррозия. Л.: Машиностроение, 1976, 270 с.
10. Грещилов А.А. Математические методы принятия решений.: Учебное пособие. -М.: Изд-во МГТУ.2006.-584с.

**Заярный Сергей Леонидович** – канд. техн. наук, доцент кафедры «Детали машин и подъемно-транспортное оборудование» КФ МГТУ им. Н.Э. Баумана. E-mail: texnakon@yandex.ru.

S.L.Zayarny

## **THE COMPARATIVE ASSESSMENT OF THE QUALITY OF THE COMPONENTS THE COMPOUNDS OF ELEMENTS OF THE DRIVERS OF HOISTING CRANES**

Bauman Moscow State Technical University, Kaluga Branch, Kaluga, 248000, Russia

*Considered compounds of elements drive the crane mechanisms and identified their quality indicators. Method of determination of the overall index of the quality of the connection. The comparative assessment of the connections in the generalized indicator of quality.*

**Key words:** *connection, the generalized index of the quality, crane mechanism.*

### **REFERENCES**

- 1 Alexandrov NP Lifting machines: Textbook. TH .: Publ MGTU.2000.-552s.
- 2 RTM 24.090.18-76 Cranes. Connection details with guaranteed interference. Methods of calculation. 9 p.
- 3 Lobov NA Dynamics of movement of the crane along the track: Textbook. TH .: Publ MGTU.2003.-232c .: ill.
- 4 GB Iosilevich Machine parts: Textbook for high schools. TH .: Engineering. 1988.-368 .: silt.
- 5 Birger IA Calculation of the strength of machine parts: Spravochnik.-M .: Machinery, 1993.-690 .: silt.
- 6 Grechishchev ES Il'yashenko AA Connection with interference: Calculation, design, manufac-pared. TH: Mechanical Engineering, 247s, 1981.
- 7 Machine parts. Calculation and design. Handbook, Volume 1. Ed. NS Acherkana, M. Engineering, 1968 - 440c.
- 8 Koga VP Based on tensile stresses variables over time. TH .: Ma-engineering industry, 1977.-232 .: silt.
- 9 RB Waterhouse Fretting corrosion. A .: Engineering, 1976, 270 p.
- 10 Greshilov AA Mathematical methods of decision-making .: Textbook. TH .: Publ MGTU.2006.-584s.

**Zayarny Sergey Leonidovich**, Ph. D., Assoc. Professor of Kaluga Branch of Bauman Moscow State Technical University. E-mail: texnakon@yandex.ru.

В. И. Сероштан, Т.В. Гаах, К.А. Долгов

## **ДИАГНОСТИРОВАНИЕ МЕТАЛЛОКОНСТРУКЦИИ КОЗЛОВОГО КРАНА С ПРИМЕНЕНИЕМ АКУСТИЧЕСКОЙ ЭМИССИИ КОНТРОЛЯ**

КФ МГТУ им. Н.Э. Баумана, Калуга, 248000, Россия

Основным технологическим процессом изготовления металлических конструкций грузоподъёмных машин является сварка. Поэтому дефекты сварочного процесса являются и основными эксплуатационными повреждениями металлоконструкций козловых кранов (рис. 1). Из опыта эксплуатации козловых кранов, от работавших нормативный срок службы, известно, что в результате воздействия различных неблагоприятных факторов в металлоконструкциях образуются опасные усталостные повреждения вплоть до разрушения. [1, 2]



Рис.1 Общий вид крана козлового

Для выявления очагов усталостных повреждений применяется не разрушающиеся методы контроля [1]:

- радиографическим контролем выявляются внутренние скрытые эксплуатационные повреждения с применением портативных, малогабаритных импульсных рентгеновских аппаратов;
- ультразвуковой метод применяется в полустационарных условиях для обнаружения скрытых внутренних эксплуатационных повреждений в сварных швах;
- электромагнитные методы применяются для выявления поверхностных и подповерхностных эксплуатационных повреждений (усталостных и технологических: трещин, раковин, неметаллических включений, волосовин, пористостей, очагов коррозионных поражений, поражений в процессе термообработки);
- визуально-оптический контроль предназначен для обнаружения поверхностных эксплуатационных повреждений: трещин, коррозионных и эрозионных повреждений, разрывов, остаточных деформаций;
- капиллярные методы используются для обнаружения поверхностных и сквозных эксплуатационных повреждений, определения их расположения, протяженности и ориентации по поверхности.

Перечисленные методы позволяют выявлять трещины, появившиеся на поверхности объекта диагностирования. Для выявления очагов усталостного повреждения, возникновения микротрещин, развивающихся и склонных к развитию, эффективно применение метода акустической эмиссии (АЭ) [2,3]. Кроме того АЭ-контроль позволяет определять местоположение очагов повреждений и их опасность.

Для проведения АЭ контроля целесообразно применение цифровой АЭ системы «A-Line32D» (рис. 2) с преобразователями акустической эмиссии типа GT-200, которые устанавливаются на зачищенную до металлического блеска поверхность объекта контроля через контактную смазку и крепятся магнитными держателями. Система A-Line 32D – многоканальная модульная система сбора и обработки акустико-эмиссионной информации с последовательным высокоскоростным цифровым каналом передачи данных.[4]

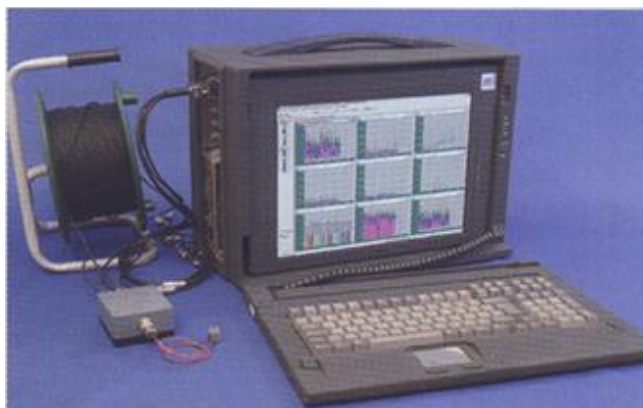


Рис.2 Система «A-Line32D»

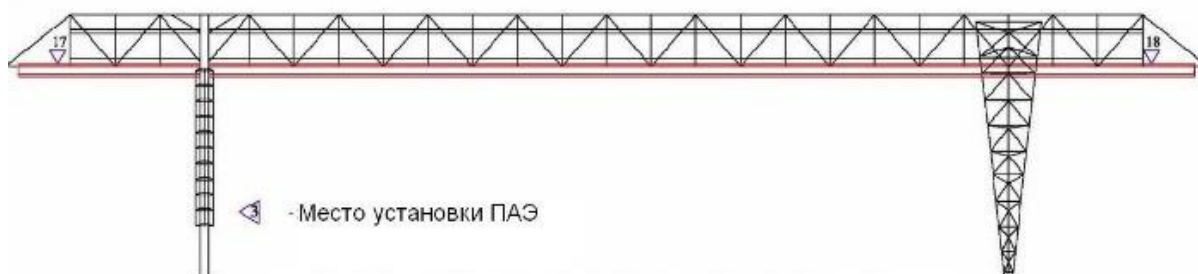


Рис.3 Схема расстановки датчиков при проведении диагностики методом АЭ пролетной фермы козлового крана

Контроль системой A-Line 32D целесообразно проводить для пролетной горизонтальной фермы и несущих четырех опор. На рис. 3 и 4 представлены схемы расстановки преобразователей АЭ для указанных металлоконструкций. Расстановка преобразователей в режиме линейной локализации (рис. 3) позволяет осуществлять сто процентный контроль конструкции пролетной горизонтальной фермы, включая сварные стыки. Контроль несущих опор (рис. 4), ввиду сложности конструкции, целесообразно проводить с установкой на каждую опору минимум по восемь датчиков. Это позволяет минимизировать влияния ложных сигналов АЭ, возникающие на узловых соединениях опор, а также в элементах раскосов опор. [2]

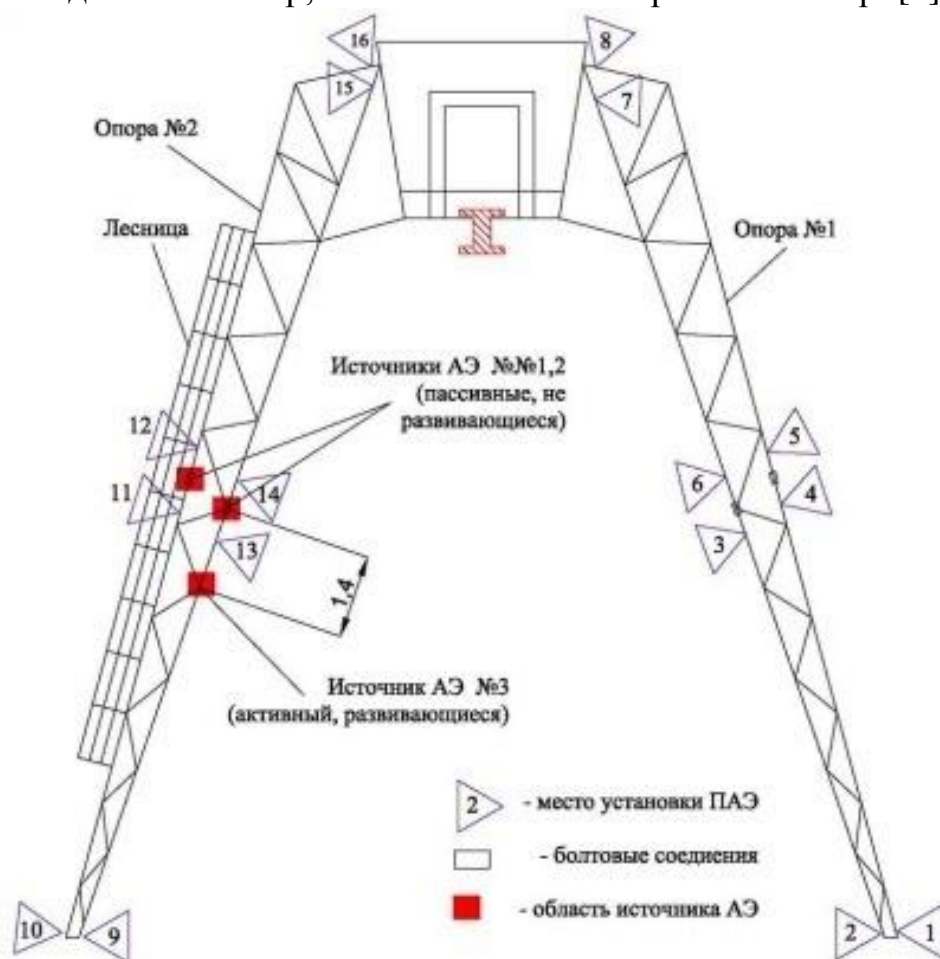


Рис.4 Схема расстановки датчиков и расположения областей источников АЭ при проведении диагностики методом АЭ 1 и 2 опор козлового крана

Для увеличения достоверности результатов АЭ-контроля предпочтительны комбинированные схемы локации на основе линейной и треугольной схем. С целью проверки чувствительности каналов и для определения скорости распространения упругих волн в объекте контроля проводится калибровка АЭ-аппаратуры.

С помощью метода АЭ возможен не только 100%-ный контроль сварных узлов металлоконструкций козлового крана, а и оценка состояния незатянутых болтовых соединений с выявлением точного местоположения очагов повреждений.

На эффективность АЭ контроля большое влияние оказывают шумы, основными источниками которых являются электрические помехи электрооборудования, шумы механизмов и узлов машин, вибрации и т.п. Для снижения влияния таких помех диагностирование предпочтительнее проводить на неработающем кране.

Опыт применения метода АЭ для диагностики металлоконструкций козловых кранов [2] показал, целесообразность и необходимость его применения для оценки технического состояния ГПМ, обоснования необходимости проведения сервисных и ремонтных мероприятий. Основным достоинством метода АЭ является возможность достоверного выявления повреждений, регистрировать области как развивающихся повреждений так и потенциальных еще на стадии их зарождения, что дает возможность качественной оценки технического состояния металлоконструкций.

### Список литературы

[1] Сероштан В.И. Диагностирование грузоподъемных машин. В.И. Сероштан, Ю.С.Огарь, А.И.Головин и др.: Под ред. В.И.Сероштана, Ю.С.Огаря. – М.: Машиностроение, 1992 – 192 с.

[2] Кузьмин А.Н. Диагностика металлических конструкций козлового крана с применением метода акустической эмиссии. Акустическая эмиссия против усталости металла. А.Н. Кузьмин, А.В.Жуков, Д.Б.Журавлев, С.Ю.Филиппов – М.: “ТехНадзор”, №2 (15), 2008 – с.7-11.

[3] Гречанинов В.А. Акустическая эмиссия. В.И. Гречанинов, Ю.Б. Дробот – М.: Интерюнис, 200 – 18с.

**Сероштан Владимир Иванович** – канд. техн. наук, доцент КФ МГТУ им. Н.Э. Баумана. E-mail: swi77@yandex.ru.

**Гаах Татьяна Владимировна** – ассистент КФ МГТУ им. Н.Э. Баумана. E-mail: tatusha\_g@mail.ru.

**Долгов Кирилл Алексеевич** – студент КФ МГТУ им. Н.Э. Баумана. E-mail: dolgovkiril@gmail.com.

УДК 621.8

С.Л.Заярный, Е.А. Плахова

## КОМБИНИРОВАННАЯ СПЕЦИАЛЬНАЯ ДОРОЖНАЯ ТЕХНИКА

КФ МГТУ им. Н.Э. Баумана, Калуга, 248000, Россия

*Представлен обзор коммунальной техники. Проведено сравнение универсальной дорожной машины, подметально-вакуумной машины и универсальной дорожной машины с доработанной платформой (манипулятором).*

**Ключевые слова:** *Коммунальная техника, универсальная дорожная машина, манипулятор, подметально-вакуумная машина.*

Сегодня трудно представить себе эффективную работу системы жилищно-коммунального хозяйства в целом без полноценного парка коммунальной техники. Она отвечает за нормальное функционирование города, дорожно-транспортной системы, обеспечивает обслуживание жителей и избавление населенных пунктов от многих тонн мусора.

Необходимость применять уборочную технику при работе коммунальных хозяйств возникла приблизительно вначале 1960-х гг. Особенно остро данный вопрос стоял в зимний период, когда величина выпавшего снега составляла до нескольких метров.

Создавались различные машины для уборки дорожного полотна, но, однако, большое разнообразие узкоспециализированного парка машин приводило к ряду следующих проблем:

- размещение дорожной техники требовало больших площадей;
- техническое обслуживание и ремонт техники осуществлялся большим штатом персонала;
- для работы на всех машинах требовалось большое число рабочих.

С целью устранения вышеперечисленных недостатков на рынке появилась комбинированная дорожная техника, которую сегодня применяют для широкого спектра мероприятий, направленных на содержание тротуаров и дорог в течение всего года. Это уборка снежного покрова и мусора, очистка и полив дорожных покрытий, а также завоз и распределение песка и химических реагентов в зимний период.



Рис.1 Комплексная дорожная машина для уборки города



Комплексная дорожная машина (КДМ) выполняется на базе шасси автомобиля КАМАЗ, ЗИЛ или МАЗ. В зависимости от сезона снабжается сменным оборудованием: в летний период времени – поливомоечное оборудование, в зимнее – распределителем минеральных материалов (песко-разбрасыватель).

Кроме того, для уборки тротуаров и пешеходных дорог используются Bucher.



Рис.2. Подметально-вакуумная машина

Данная машина позволяет производить уборку дорожного полотна в местах, где КДМ работать не может (тротуары, пешеходные дорожки и т. д.).

Сравнивая КДМ и подметально-вакуумные машины можно сделать вывод, что работа каждой машины в отдельности необходима на городских улицах, но содержать большое количество дорожной техники работникам ЖКХ не представляется рациональным, поэтому встает вопрос о совмещении функций этих двух машин в одной, что позволит сократить парк машин, но при этом работа, производимая одной машиной, будет эквивалентна работе нескольких машин. Это будет возможным, если совместить работу КДМ и манипулятора путем установки последнего на раму КДМ. Функции, выполняемые машинами, можно представить в матрице решений, представленной в таблице №1.

Таблица №1

Наименование машины	Вид выполняемой работы				
	Уборка снега на дорожном полотне / между машинами	Полив дорожного полотна (главная дорога)/ подметание	Распределение хим. реагентов	Полив улиц (главная дорога) /подрезка кустов	Уборка мусора
КДМ	+/-	+/+	+	+/-	+
Подметально-вакуумная машина	+/-	-/+	-	-/-	-
КДМ+манипулятор	+/+	+/+	+	+/+	+

Из представленной таблицы следует, что одна машина может заменить сразу группу машин, при этом выполняя несколько функций одновременно, например, подметание дорожного покрова на главной дороге центральной щеткой и между машинами при помощи манипулятора, чего раньше не было.

Таким образом, можно получить универсальную машину, способную выполнять самые разные технологические задания, что позволит значительно экономить средства на приобретении специализированного оборудования.

### Список литературы

- <http://www.cominvest-akmt.ru/catalog/roadmachines/road-comunal/kdm>  
[http://www.karcher.ru/ru/Rekomendacyyu\\_Karcher/Kommunalnaja\\_tekhnika\\_Karcher.htm](http://www.karcher.ru/ru/Rekomendacyyu_Karcher/Kommunalnaja_tekhnika_Karcher.htm)  
<http://www.cdminfo.ru/1.-tehnika-dlya-uborki-ulits/1.03.-vakuumnyie-podmetalno-uborochnyie-mashiny/index.html>  
[http://www.chelkamaz.ru/shop/cement\\_truck/communal\\_equipment/kombinirovannye\\_dorozhnye\\_mashiny/kdm-313/](http://www.chelkamaz.ru/shop/cement_truck/communal_equipment/kombinirovannye_dorozhnye_mashiny/kdm-313/)

**Заярный Сергей Леонидович** – канд. техн. наук, доцент кафедры «Детали машин и подъемно-транспортное оборудование» КФ МГТУ им. Н.Э. Баумана. E-mail: texnakon@yandex.ru.

**Плахова Евгения Андреевна** – студент КФ МГТУ им. Н.Э. Баумана. E-mail: shenja1991@mail.ru

S.L.Zayarny, E.A. Plahova

### THE COMBINED SPECIFIC ROAD CONSTRUCTION EQUIPMENT

Bauman Moscow State Technical University, Kaluga Branch, Kaluga, 248000, Russia

*Municipal engineering are presents an overview. Universal road machine, road sweeper-vacuum machine and universal road machine with a modified platform (manipulator) are were compared.*

**Keywords:** *Groundscare machines, universal road machine, manipulator, road sweeper machine.*

**Zayarny Sergey Leonidovich**, Ph. D., Assoc. Professor of Kaluga Branch of Bauman Moscow State Technical University. E-mail: texnakon@yandex.ru.

**Plahova E.A.**, student of the Kaluga Branch of the Bauman Moscow State Technical University. E-mail: shenja1991@mail.ru.

В.И. Сероштан, В.А. Подгорбунский

## ПРИМЕНЕНИЕ МЕТОДА АКУСТИЧЕСКОЙ ЭМИССИИ ДЛЯ ДИАГНОСТИРОВАНИЯ МЕТАЛЛОКОНСТРУКЦИЙ ГРУЗОПОДЪЕМНЫХ МАШИН

КФ МГТУ им. Н.Э. Баумана, Калуга, 248000, Россия

Практика показывает, что при длительной эксплуатации грузоподъемных машин (ГПМ) диагностирование их металлоконструкций весьма актуально в связи с воздействием на них различных неблагоприятных факторов: образованием опасных усталостных разрушений и различных повреждений коррозионной природы. Для проведения полного и достоверного технического обследования (диагностирования) ГПМ. С целью выявления опасных и развивающихся повреждений может быть эффективно использован метод акустической эмиссии (АЭ) [1].

Этот метод позволяет регистрировать волны упругих напряжений, которые возникают в результате локальной внутренней перестройки в структуре материала элементов металлоконструкций, и способных привести к наступлению предельного состояния или разрушению. При этом обеспечивается возможность стопроцентного контроля конструкции, обнаружения зарождающихся повреждений, в том числе в труднодоступных и скрытых местах, точного определения координат мест расположения повреждений и их оценка по степени опасности.

Практическое проведение АЭ контроля целесообразно с использованием цифровой АЭ системы Лель Интерюнис (IU) «A-Line 32D» и преобразователей АЭ типа GT-200 [2]. Преобразователи устанавливаются через контактную смазку Литол-24 на зачищенную до металлического блеска поверхность металлоконструкции и закрепляются магнитными держателями. Схема расстановки преобразователей АЭ на примере металлоконструкции мостового крана показана на рис. 1.

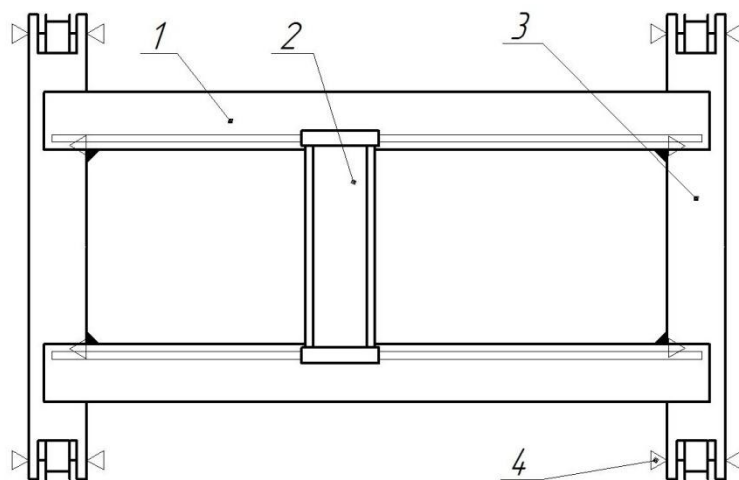


Рис.1. Схема расстановки преобразователей АЭ

1 – главная балка; 2 – грузовая тележка; 3 – концевая балка; 4 – датчик.

Преимущественными особенностями системы Лель является:

- высокое быстродействие без потерь управления при большой интенсивности передачи информации;
- надежность непрерывного получения информации в ходе испытаний в режиме реального времени;
- эффективность при контроле протяженных объектов;
- универсальность использования системы как для стационарного непрерывного контроля (мониторинга), так и для мобильного периодического контроля;
- помехозащищенность при обработке полученной информации, вычислении параметров АЭ и передача обработанных данных в цифровом виде;
- гибкость в зависимости от особенностей контролируемых объектов и их мест нахождения;
- широкие возможности, включающие регулируемый коэффициент усиления, программно-переключаемый фильтр, режим излучения импульсов, цифровой осциллограф, и т. д.;
- удобство работы с использованием программного обеспечения, реализованного в среде Windows на русском языке, общее для всех приборов серии «А-Line 32D».

Основные технические характеристики системы Лель

- максимальное количество каналов на одну линию – 16;
- максимальная длина одной линии – 1600м;
- амплитуда импульсов в режиме излучения – 10-140В;
- погрешность амплитуды излучаемых импульсов –  $\pm 10\%$ ;
- частота излучаемых импульсов – 1Гц;
- диапазон рабочих частот измерительного тракта – 30-500кГц;
- максимальная амплитуда АЭ сигнала – не менее 100дБ;
- погрешность измерения максимальной амплитуды АЭ сигнала – 0,5дБ;
- температура окружающей среды –  $-20 \div +50$  °С;
- относительная влажность при температуре 25 °С – не более 95%;
- атмосферное давление – 460-960 мм рт. ст.

Преобразователи АЭ типа GT-200 регистрируют и преобразуют в электрический сигнал энергии упругих механических волн, распространяющихся от места зарождения и развития повреждения в металлоконструкции. Они имеют герметичную конструкцию [3]. На рис. 2 представлен внешний вид преобразователя GT-200.

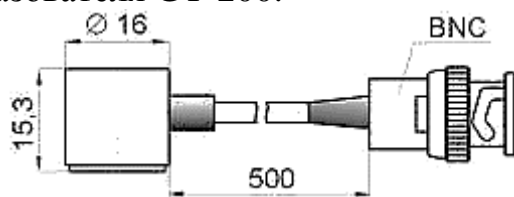


Рис.2. Преобразователь GT-200

Основные технические характеристики преобразователей АЭ типа GT-200

- тип – резонансный;
- рабочая частота – 165кГц;
- температурный диапазон –  $-40 \div +150$  °С;
- масса (без кабеля) – 15г.
- материал корпуса – титановый сплав;

Преобразователи АЭ располагаются в наиболее опасных местах, так называемых «горячих точках». Характерными опасными местами в мостовых кранах являются: сварные соединения главных и концевых балок, а также буксовые узлы концевых балок. Измерения акустико-эмиссионного сигнала целесообразно проводить в низкочастотном диапазоне полосы частот фильтра. Нагружение объекта контроля проводится в рабочих условиях в соответствии с требованиями безопасности [4].

Для минимизации помех АЭ диагностику целесообразно проводить на неподвижном кране вдали от источников механических шумов. Кроме того, применяют аппаратурные методы устранения помех, в частности узкополосную фильтрацию входного сигнала, метод когерентных замеров и аппаратурные методы фильтрации в режиме постобработки [5]. Оценку зарегистрированных источников АЭ проводят по амплитудному критерию [4], в соответствии с которым источники АЭ разделяют на 4 класса: источник I - пассивный, источник II - активный, источник III - критически активный и источник IV - катастрофически активный:

В результате проведенного АЭ контроля могут быть обнаружены источники АЭ любого из вышеуказанных классов опасности. С целью идентификации полученных результатов АЭ контроля целесообразно провести контроль традиционными методами: ультразвуковым, вихретоковым или методом магнитной памяти металла и другими.

В процессе контроля АЭ и дополнительного дефектоскопического контроля могут быть обнаружены непровары, незаваренные участки и другие концентраторы напряжения, которые способствуют развитию повреждения усталостного характера. При этом локальное обследование ультразвуковым и вихретоковым методами не обеспечивают стопроцентного обнаружения концентраторов напряжений. В связи с этим особый интерес представляет метод магнитной памяти металла с целью оценки и подтверждения степени опасности выявленных повреждений АЭ методом.

Метод магнитной памяти металлов позволяет обнаруживать области нескомпенсированных механических напряжений, обуславливающих зарождение усталостных микротрещин, которое не обнаруживается традиционными методами контроля. Сложность или невозможность локального контроля в таких местах ГПМ объясняется многими факторами, как правило, связанных с ограниченными возможностями применяемых традицион-

ных методов контроля. Это убедительно свидетельствует об эффективности применения для прогнозирования зарождения усталостных микротрещин АЭ контроля и метода магнитной памяти металла как для экспресс методов диагностирования металлоконструкций ГПМ.

Таким образом, опыт применения метода АЭ для диагностирования технического состояния металлоконструкций на примере мостового крана показал свою эффективность. Он позволяет выявлять недопустимые при эксплуатации ГПМ повреждения (опасные внутренние зарождающиеся и развивающиеся микротрещины), которые при диагностировании традиционными методами неразрушающего контроля зачастую не выявляются. Результаты диагностирования ГПМ, отработавшей нормативный срок службы, с применением метода АЭ позволяют достоверно оценить её техническое состояние с целью принятия решения о возможности и режимах её дальнейшей эксплуатации.

### Литература

1. Диагностирование грузоподъемных машин / В.И. Сероштан, Ю.С. Огарь, А.И. Головин и др.: Под ред. В.И. Сероштана, Ю.С. Огаря. – М.: Машиностроение, 1992. – 192 с.

2. Кузьмин А.Н. Акустико-эмиссионная дефектоскопия грузоподъемных механизмов / А.Н. Кузьмин, С.Ю. Филиппов – М.: Журнал «В Мире НК», №2, 2008. С 13-18.

3. <http://www.interunis.ru/ru/produkcziya-a-line-32d/ae-sistemyi/ddm.html>

4. ПБ-03-593-03 Правила организации и проведения акустико-эмиссионного контроля сосудов, аппаратов, котлов и технологических трубопроводов. СПб.: Издательство ДЕАН, 2004. 64с.

5. Комплекс информационно-вычислительный дефектоскопический акустико-эмиссионный А-Line32D. Руководство пользователя. – М.: Интерюнис, 2000. – 18 с.

**Сероштан Владимир Иванович** – канд. техн. наук, доцент КФ МГТУ им. Н.Э. Баумана. E-mail: swi77@yandex.ru.

**Подгорбунский Василий Александрович** – студент КФ МГТУ им. Н.Э. Баумана. E-mail: vasily-podgorbunsky@yandex.ru.

УДК 62-238.9

В.А. Ермоленко, И.О. Лесовский

## РАСЧЁТ УСИЛИЯ ЗАТЯЖКИ ГАЙКИ ДЛЯ ФИКСАЦИИ ЭКСЦЕНТРИЧНОЙ ОСИ ХОДОВЫХ КОЛЁС

КФ МГТУ им. Н.Э. Баумана, Калуга, 248000, Россия

*Представлен метод расчета усилия затяжки гайки для фиксации эксцентричной оси ходовых колёс, определён коэффициент запаса прочности крепления эксцентричной оси к платформе, указан диапазон увеличения эксцентриситета оси.*

**Ключевые слова:** *усилие затяжки гайки, эксцентричная ось, ходовое колесо, тензодомкрат*

Рельсовые тележки с числом ходовых колес 4 и более не позволяют обеспечить равномерное нагружение ходовых колёс. Положение плоскости в пространстве определяют 3 точки контакта ходовых колёс с рельсом. Остальные ходовые колеса “повисают в воздухе” или вызывают деформацию рамы, на которой закреплены ходовые колёса. Для уменьшения деформации рамы могут быть применены эксцентричные оси ходовых колёс [1], которые поднимают или опускают ходовые колёса, оказавшиеся ниже или выше опорной плоскости. Существует вероятность того, что эксцентричная ось внезапно или постепенно повернется под действием давления на ходовое колесо, если усилие затяжки гайки, предусмотренной для фиксации эксцентричной оси окажется недостаточным, например, при наезде на препятствие. Поэтому поставлена задача рассчитать усилие затяжки гайки 1 (рис.1) для фиксации эксцентричной оси ходовых колёс.

Крутящий момент на оси колеса

$$T_k = Fe, \quad (1)$$

где  $F = 8 \cdot 10^4 \text{ Н}$  – максимальная нагрузка на ходовое колесо при наезде на препятствие;  $e = 0,001 \text{ м}$  – эксцентриситет посадочного цилиндра ходового колеса относительно хвостовика оси с гайкой 1.

Момент трения на торце эксцентричной оси ходового колеса

$$T_T = F_3 \cdot f \cdot d_c, \quad (2)$$

где  $F_3$  – усилие затяжки гайки;

$f = 0,05$  – минимальное значение коэффициента трения сталь по стали при незначительном попадании масла и влаги;

$d_c = 0,08 \text{ м}$  – средний диаметр торца оси, соприкасающегося с корпусом 2.

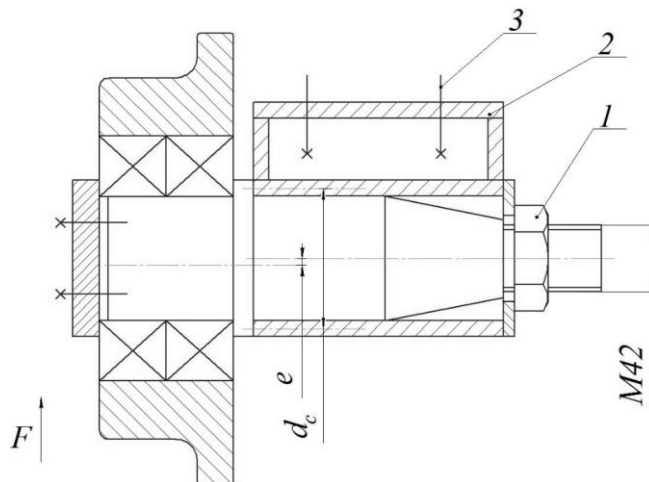


Рис.1 Схема к расчету:

1 – гайка; 2 – корпус эксцентричной оси; 3 – болт крепления к раме  
Из равенства моментов (1) и (2) получим усилие затяжки гайки

$$F_3 = \frac{Fe}{fd_c} = \frac{8 \cdot 10^4 \cdot 0,001}{0,05 \cdot 0,08} = 2 \cdot 10^4 \text{ Н} .$$

Усилие на ключе при стандартном плече ключа

$$F_k = \frac{F_3}{80} = \frac{2 \cdot 10^4}{80} = 250 \text{ Н} .$$

Коэффициент запаса прочности резьбы

$$n = \frac{[F]}{F_3} = \frac{17 \cdot 10^4}{2 \cdot 10^4} = 8,5 ,$$

где  $[F] = 17 \cdot 10^4 \text{ Н}$  – допустимая нагрузка на болт  $M42$ , сталь 45.

Для обеспечения равномерной затяжки болтовых соединений узлов соединения ходовых колёс с рамой с целью повышения их прочности следует применить тензодомкрат [2]. Это позволит выровнять нагруженность болтов крепления для всех четырех ходовых колёс.

Тензодомкраты (рис.2) не допускают возникновения напряжения кручения в теле болтов тем самым повышают коэффициент запаса прочности болта на 30% .



Рис.2 Домкрат гидравлический тензорные ДТГ30



Работа тензорного домкрата основана на предварительном растяжении шпильки (болта) с усилием, равным требуемому усилию затяжки резьбового соединения и последующим закручиванием гайки без приложения усилия до упора в опорную поверхность.

Домкрат тензорный состоит (рис.3) из домкрата и составного адаптера.

В состав адаптера входят:

- проставка,
- тянущий стакан,
- обойма
- рукоятка.



Рис.3 Состав домкрата гидравлического тензорного ДТГ30

1 – домкрат; 2 – тянущий стакан; 3 – вороток; 4 – обойма; 5 – проставка

Выводы:

1) Коэффициент запаса прочности резьбы  $M42$  достаточен для надежной фиксации эксцентричной оси от поворота под действием давления на ходовое колесо  $\varnothing 200\text{ мм}$  силой  $8 \cdot 10^4 \text{ Н}$ ;

2) Эксцентриситет оси можно увеличить до  $2...3\text{ мм}$ . Но тогда плечо ключа следует увеличить также в  $2...3$  раза.

### Список литературы

1. Подъемо-транспортные машины: Атлас конструкций / Под ред. М. П. Александрова и Д. Н. Решетова. – Машиностроение, 1987. – 122 с.

2. Домкраты тензорные (Шпильконатяжители) [Электронный ресурс]. URL: <http://www.energrom.ru>

**Ермоленко Владимир Алексеевич** – канд. техн. наук, доцент КФ МГТУ им. Н.Э. Баумана. E-mail: [tvermolenko@rambler.ru](mailto:tvermolenko@rambler.ru).

**Лесовский Игорь Олегович** – студент КФ МГТУ им. Н.Э. Баумана. E-mail: [igor@lesovsky.ru](mailto:igor@lesovsky.ru).

## **СЕКЦИЯ 14.**

### **ФИЗИКО-МАТЕМАТИЧЕСКИЕ И ХИМИКО-ТЕХНОЛОГИЧЕСКИЕ ПРОБЛЕМЫ ПРОЕКТИРОВАНИЯ СЛОЖНЫХ ТЕХНИЧЕСКИХ СИСТЕМ**

## **МОДЕЛИРОВАНИЕ КОНВЕКТИВНОГО ТЕПЛООБМЕНА В ПРИЗМАТИЧЕСКИХ КАНАЛАХ С РАЗЛИЧНОЙ ГЕОМЕТРИЕЙ СЕЧЕНИЯ**

КФ МГТУ им. Н.Э. Баумана, Калуга, 248000, Россия

*Призматические каналы прямоугольного и треугольного сечения могут встречаться в различных элементах энергетического оборудования. Задача моделирования теплообмена в каналах некруглого сечения остается актуальной, так как приближенный метод расчета на основе соотношений, установленных для круглых труб с учетом эквивалентного диаметра не имеет точно установленных границ применимости.*

*В статье описана математическая модель теплообмена при развитом ламинарном течении в призматических каналах прямоугольного и треугольного сечений, включающая уравнение движения жидкости, уравнение энергии с граничными условиями второго рода на стенках канала. Приведены аналитические решения для поля скоростей, полученные из уравнения движения жидкости. Решение уравнения энергии получено численным методом конечных разностей. В основу алгоритма расчета была положена разностная схема, аппроксимирующая краевую задачу, построенная на пятиточечном шаблоне. Указанный алгоритм реализуют программы, позволяющие рассчитать поля скоростей и температур в каналах, определить локальные и средние характеристики теплоотдачи. В перспективе предполагается построение алгоритма и разработка программы для численного решения задачи о конвективном теплообмене в канале более сложной геометрии с выступами на стенках.*

**Ключевые слова:** конвективный теплообмен, математическое моделирование, метод конечных разностей.

Исследование процессов движения жидкости и теплоотдачи в трубах и каналах имеет большое практическое значения для проектирования и эксплуатации различных элементов энергетического оборудования.

Одним из методов повышения эффективности работы теплообменных установок является увеличение поверхности теплообмена путем оребрения. Существует большое многообразие геометрических разновидностей таких поверхностей. В частности, поверхности пластинчато-ребристых теплообменников могут иметь каналы прямоугольного, треугольного и трапецевидного сечений.

В настоящее время лучше всего изучены процессы теплоотдачи при движении теплоносителя в круглых трубах. Если канал имеет некруглое

поперечное сечение, то расчет теплоотдачи в нем производится, как правило, на основе соотношений, установленных для круглых труб, с учетом эквивалентного или гидравлического диаметра [1]

$$d_{\text{экв}} = \frac{4S}{P}, \quad (1)$$

где  $S$  – площадь поперечного сечения,  $P$  – полный (смоченный) периметр канала.

Метод расчета теплоотдачи с помощью эквивалентного диаметра является приближенным, точные границы применимости не установлены [2]. Поэтому остается актуальной задача моделирования гидродинамики и теплообмена в призматических каналах с прямым учетом геометрии поперечного сечения.

Целью данной работы является численное моделирование процессов движения жидкости и теплоотдачи в каналах прямоугольного и треугольного сечений. На первом этапе решалась задача о теплообмене при развитии ламинарного течения в прямоугольном канале.

Считая канал бесконечно длинным, а плотность и коэффициент вязкости постоянными, можно свести систему уравнений Навье-Стокса к уравнению Пуассона, которое в безразмерной форме принимает вид

$$\frac{\partial^2 \omega}{\partial \xi^2} + \frac{\partial^2 \omega}{\partial \eta^2} = -1, \quad (2)$$

где  $\omega$  – безразмерная скорость,  $\xi$  и  $\eta$  – безразмерные координаты. Для каналов прямоугольного сечения с отношением сторон  $\kappa$  (рис.1) это уравнение с граничным условием  $\omega=0$  на стенках имеет аналитическое решение в виде ряда [3]:

$$\omega = \frac{16\kappa}{\pi^3} \sum_{n=0}^{\infty} \frac{(-1)^n}{(2n+1)^3} \left[ 1 - \frac{\text{ch}\left(\frac{2n+1}{2} \frac{\pi}{\kappa} \eta\right)}{\text{ch}\left(\frac{2n+1}{2} \frac{\pi}{\kappa}\right)} \right] \cos\left(\frac{2n+1}{2} \frac{\pi}{\kappa} \xi\right). \quad (3)$$

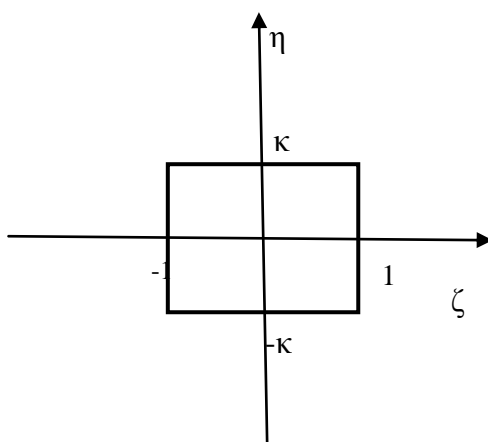


Рис. 1. Поперечное сечение прямоугольного канала

Для канала треугольного сечения поле скоростей можно получить аналитически, решая уравнение (2). Если сечение представляет собой рав-

нобедренный треугольник, боковые стороны которого заданы уравнениями  $\eta = \kappa(1 \pm \xi)$ , а основание  $\eta = 0$ , то решение имеет вид (здесь  $\kappa$  - отношение высоты к половине основания):

$$\omega = \eta(\eta - \kappa\xi - \kappa)(\eta + \kappa\xi - \kappa). \quad (4)$$

Уравнение энергии для развитого течения в области, достаточно удаленной от входа в канал,

$$\frac{1}{2} \text{Re Pr} \frac{\partial \theta}{\partial \chi} = \frac{\partial^2 \theta}{\partial \xi^2} + \frac{\partial^2 \theta}{\partial \eta^2}, \quad (5)$$

где  $\theta$  - безразмерная температура,  $\chi, \xi, \eta$  - координаты, Re и Pr - числа Рейнольдса и Прандтля.

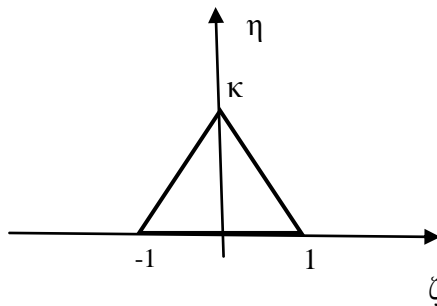


Рис. 2. Поперечное сечение треугольного канала

В качестве граничных условий для прямоугольного канала задавалась температура на входе в канал, постоянный поток тепла на горизонтальных стенках и отсутствие теплообмена на вертикальных стенках:

$$\theta = 0, \text{ при } \chi = 0,$$

$$\frac{\partial \theta}{\partial \xi} = 0, \text{ при } \chi > 0, \xi = \pm 1, |\eta| \leq \kappa,$$

$$\frac{\partial \theta}{\partial \eta} = \pm \frac{1}{2}, \text{ при } \chi > 0, \eta = \pm \kappa, |\xi| \leq 1.$$

Краевая задача для уравнения энергии в треугольном канале решалась в предположении, что боковые стенки адиабатны при заданном тепловом потоке на основании:

$$\theta = 0, \text{ при } \chi = 0,$$

$$\frac{\partial \theta}{\partial \xi} = 0, \text{ при } \chi > 0, |\xi| \leq 1, \eta = \kappa(1 \pm \xi),$$

$$\frac{\partial \theta}{\partial \eta} = 1, \text{ при } \chi > 0, \eta = 0, |\xi| \leq 1.$$

Будем считать, что при достаточном удалении от входа профиль температуры меняется по длине канала линейно:

$$\theta = A\chi + f(\xi, \eta), \quad (6)$$

где  $A$  - постоянная,  $f(\xi, \eta)$  - неизвестная функция. Подставляя это выражение в уравнение энергии, получим

$$\frac{1}{2} A \text{RePr} = \frac{\partial^2 f}{\partial \xi^2} + \frac{\partial^2 f}{\partial \eta^2}. \quad (7)$$

Используя определение среднемассовой температуры

$$\bar{\theta} = \int_{-\kappa}^{\kappa} \int_{-1}^1 \frac{\omega(\xi, \eta)}{\bar{\omega}} d\xi d\eta, \quad (8)$$

можно найти значение константы  $A$ :

$$A = \frac{1}{\kappa \overline{\text{RePr}}}, \quad (9)$$

где  $\overline{\text{Re}}$  - число Рейнольдса, построенное на среднемассовой скорости. С учетом этого получим уравнение

$$\frac{\partial^2 f}{\partial \xi^2} + \frac{\partial^2 f}{\partial \eta^2} = \frac{1}{2\kappa} \frac{\omega}{\bar{\omega}} \quad (10)$$

с граничными условиями для прямоугольного канала

$$\frac{\partial f}{\partial \xi} = 0, \text{ при } \chi > 0, \xi = \pm 1, |\eta| \leq \kappa, \quad (11)$$

$$\frac{\partial f}{\partial \eta} = \pm \frac{1}{2}, \text{ при } \chi > 0, \eta = \pm \kappa, |\xi| \leq 1. \quad (12)$$

Эти условия определяют функцию  $f(\xi, \eta)$  с точностью до константы  $C$ , которую можно найти из условия

$$\int_{-\kappa}^{\kappa} \int_{-1}^1 \text{Re}(\xi, \eta) f(\xi, \eta) d\xi d\eta = 0, \quad (12)$$

вытекающего из определения среднемассовой температуры (7):

$$C = -\frac{1}{4\kappa} \int_{-\kappa}^{\kappa} \int_{-1}^1 \frac{\omega(\xi, \eta)}{\bar{\omega}} f(\xi, \eta) d\xi d\eta. \quad (13)$$

где  $f(\xi, \eta)$  - произвольное решение уравнения, в качестве которого можно выбрать решение, обладающее свойством

$$f(0,0) = 0. \quad (14)$$

Таким образом задача сводится к уравнению (9) с граничными условиями (10), (11) и условием (14) для центральной точки сечения. Температурное поле в канале будет определяться функцией

$$\theta = A\chi + f(\xi, \eta) + C. \quad (15)$$

Для численного решения описанной выше краевой задачи была построена разностная схема на прямоугольной сетке с пятиточечным шаблоном и шагом  $h$ , аппроксимирующая задачу с погрешностью порядка  $O(h^2)$ . Алгоритм решения в самом общем виде был следующим.

1. По формуле (3) определялось поле скоростей в канале, вычислялась средняя скорость по сечению канала.

2. Производилась нормировка поля скоростей делением каждого элемента результирующего массива скоростей на значение средней скорости.

3. По разностным формулам с использованием итерационного алгоритма последовательной верхней релаксации [4], решалось уравнение (9) и с условиями (10), (11), (14).

4. Вычислялась константа  $C$  по формуле (13).

5. Определялось температурное поле в канале по формуле (15).

6. По известному температурному полю определялись локальные числа Нуссельта на верхней и нижней границе канала

$$Nu = \frac{1}{f(\xi, \pm\kappa)},$$

а также средние числа Нуссельта по длине границы.

Указанный алгоритм реализуют программы VELOCITY и NUSSELT, выполненные в интегрированной среде TurboPascal. Результатом работы программы VELOCITY является распределение скорости в канале и средняя по сечению скорость при заданном отношении сторон. Программа NUSSELT рассчитывает температурное поле по известному полю скоростей. Предусмотрена визуализация результатов в виде трехмерного изображения температурной поверхности и ее сечений различными плоскостями. По рассчитанным локальным значениям чисел Нуссельта строятся графики распределения локальной теплоотдачи по длине адиабатной стенки при различном отношении сторон поперечного сечения. Влияние характера течения жидкости на теплообмен в канале иллюстрируется зависимостью среднего числа Нуссельта от средней скорости.

В перспективе предполагается построение алгоритма и разработка программы для численного решения задачи о конвективном теплообмене в канале более сложной геометрии с выступами на стенках. Такого рода задача возникает при анализе гидродинамики и теплообмена в профилированном диффузорном канале, предельным случаем которого является прямоугольный призматический канал.

### Список литературы

[1] Лойцянский Л.Г. *Механика жидкости и газа*. 5-е изд., Москва, Наука, 1978, 736 с.

[2] Михеев М.А., Михеева И.М. *Основы теплопередачи*. 2-е изд., Москва, Энергия, 1977, 344 с.

[3] Дульнев Г.Н. *Теория тепло- и массообмена*. Санкт-Петербург, НИУ ИТМО, 2012, 194 с.

[4] К. Флетчер. *Вычислительные методы в динамике жидкостей. Т. 1: Основные положения и общие методы*. Москва, Мир, 1991, 504 с.

**Кирюхина Наталия Владимировна** – канд. пед. наук, доцент КГУ им. К.Э. Циолковского. E-mail: natakir21@gmail.com.

**Горбунов Александр Константинович** – д-р физ.-мат. наук, заведующий кафедрой "Физика" КФ МГТУ им. Н.Э. Баумана. E-mail: kf\_MGTU\_FIZ@mail.ru.

**Силаева Наталья Альбертовна** – ст. преп. кафедры "Физика" КФ МГТУ им. Н.Э. Баумана. E-mail: silaeva1968@list.ru.

N.V. Kiryukhina, A.K. Gorbunov, N.A. Silaeva

## **THE MODELLING OF CONVECTIVE HEAT TRANSFER IN DIFFERENT CROSS SECTION PRISMATIC CHANNELS**

*There are rectangular and triangular prismatic channels in the parts of power engineering equipment. The problem of heat transfer in non-circular channels is actual because the equivalent diameter method is approximation. The mathematical model consists of laminar flow and heat transfer equations with second type boundary conditions. There are analytical solutions for velocity fields in rectangular and triangular prismatic channels. The heat transfer equation was solved by finite difference method. The computational algorithm is based on five points difference formula. The programs for computation of velocity and temperature fields, average heat loss is worked out. The program for complex geometry channels will be worked.*

**Key words:** *convective heat transfer, mathematical modelling, finite difference method.*

**Kiryukhina Natalia Vladimirovna**, Ph. D., Assoc. Professor of Tsiolkovsky Kaluga State University. E-mail: natakir21@gmail.com.

**Gorbunov Aleksander Konstantinovich**, Dr. Sci. (Phys.&Math.), the Head of the Physics Department of the Kaluga Branch of the Bauman Moscow State Technical University. E-mail: kf\_MGTU\_FIZ@mail.ru.

**Silaeva Natalia Albertovna**, the Senior Lecturer of the Physics Department of Kaluga Branch of Bauman Moscow State Technical University. E-mail: silaeva1968@list.ru.



А.Н. Куликов, А.К. Горбунов, С.Ф. Цаплина

## О ГИДРОДИНАМИЧЕСКОЙ ДИСПЕРСИИ ПРИ ФИЛЬТРАЦИИ В СЛОИСТОЙ И КЛИНООБРАЗНОЙ ОБЛАСТИ

КФ МГТУ им. Н.Э. Баумана, Калуга, 248000, Россия

*В статье предложено решение краевой задачи для уравнения гидродинамической дисперсии. Предполагается, что фильтрационное течение сосредоточено в клинообразной кусочно-однородной области, ограниченной растворимым основанием и непроницаемой кровлей. Предполагается также, что процесс растворения установившийся, примесь нейтральная, то есть не изменяет гидродинамических свойств среды, скорости течения таковы, что в направлении скорости течения конвективный перенос преобладает над молекулярной диффузией. В направлении, перпендикулярном скорости течения, коэффициент гидродинамической дисперсии принимается линейно зависящим от скорости. Для описания поля концентрации в рассматриваемой клинообразной кусочно-однородной области предложено дифференциальное уравнение, получено его решение при соответствующих условиях на границе области и условиях сопряжения, то есть равенства концентраций и потоков на границах внутренних областей. Методом Фурье получено аналитическое решение поставленной задачи. Для частного случая однородной области из этого решения следуют результаты полученные ранее.*

**Ключевые слова:** гидродинамическая дисперсия, конвективная диффузия, массоперенос.

Для описания гидродинамической дисперсии будем пользоваться уравнением (1), (2).

$$\frac{\partial C}{\partial t} = \frac{\partial}{\partial x_i} \left( D_{ij} \frac{\partial C}{\partial x_{ij}} \right) - U_i \frac{\partial C}{\partial x_i} \quad (1)$$

Где:  $C$  - относительная концентрация вещества,  
 $D_{ij}$  - коэффициент гидродинамической дисперсии,  
 $U_i$  - компоненты средней скорости,  
 $x_i$  - координаты,  
 $t$  - время,

В практически важных случаях когда в направлении потока можно пренебречь молекулярной диффузией по сравнению с конвективным переносом, а сам процесс можно считать установившимся уравнение (1) для случая осесимметричного однородного фильтрационного потока принимает вид [3].

$$\frac{D}{V} \left( \frac{1}{r^2} \frac{\partial^2 C}{\partial \theta^2} + \frac{\partial^2 C}{\partial z^2} \right) + \frac{\partial C}{\partial r} = 0 \quad (2)$$

Где  $r, \theta, z$  - цилиндрические координаты

$D = D_0 + a_2 V$  - коэффициент гидродинамической дисперсии

$D_0$  - коэффициент молекулярной диффузии

$a_2$  - поперечная дисперсионность

$V$  - абсолютная величина средней скорости, верхний знак в (2) соответствует расходящемуся течению.

Постановка задачи: пусть область фильтрации ограничена двумя плоскостями  $\theta = 0$  и  $\theta = \theta_0$  и состоит из однородных клинообразных слоев с различными гидродинамическими свойствами. Причем на плоскости  $\theta = 0$  заданна постоянная концентрация вещества  $C = C_0$ , плоскость  $\theta = \theta_0$  является непроницаемой, а на цилиндрической поверхности  $r = r_0$  распределение концентрации известно.

В такой постановке задача становится двумерной. Необходимо найти решение уравнения.

$$\frac{D_0 + a_2 V}{r^2 V} \frac{\partial^2 C}{\partial \theta^2} \mp \frac{\partial C}{\partial r} = 0 \quad (3)$$

при условиях

$$C_i(r_0, \theta_i) = f_i(\theta_i), (i = 1, 2, \dots, 4) \quad (4)$$

$$C_1(r, 0) = C_0 \quad (5)$$

$$\frac{\partial C_n(r, x_n)}{\partial \theta_n} = 0 \quad (6)$$

$$C_{i-1}(r, \gamma_{i-1}) = C_i(r, 0) \quad (7)$$

$$D_{i-1} \frac{\partial C_{i-1}(r, \gamma_{i-1})}{\partial \theta_{i-1}} = D_i \frac{\partial C_i(r, 0)}{\partial \theta} \quad (8)$$

В каждом из  $n$ - слоев введена собственная система координат  $(r, \theta_i)$ .

Учитывая, что  $V = \frac{Q}{2\pi m B r} = \frac{q}{r}$

$Q$  - объемный расход жидкости

$n$  - пористость

$B$  - ширина слоя

и произведя замену  $\tau = b \ln \frac{r}{r_0} + a_2 \frac{r - r_0}{r_0 r}$ ,  $b = \frac{D_0}{q}$  получим уравнение

$$\frac{\partial^2 C}{\partial \theta^2} - \frac{\partial C}{\partial \tau} = 0 \quad (9)$$

которое необходимо подчинить условиям (4)–(8). Применяя метод Фурье, получим

$$C_i = C_0 + \sum_{k=0}^{\infty} A_{ik} e^{-\mu_k \tau} \sin(\mu_k \theta_i + \varphi_{ik}) \quad (10)$$

Удовлетворяя это решение условиям (7) и (8) получим систему для определения собственных чисел задачи

$$A_{i-1,k} \sin(\mu_k \gamma_{i-1} + \varphi_{i-1,k}) = A_{ik} \sin \varphi_{ik}$$

$$D_{i-1} A_{i-1,k} \mu_k \cos(\mu_k \gamma_{i-1} + \varphi_{i-1,k}) = D_i A_{ik} \mu_k \cos \varphi_{ik}$$

$$D_i \operatorname{tg}(\mu_k \gamma_{i-1} + \varphi_{i-1,k}) = D_{i-1} \operatorname{tg} \varphi_{ik}$$

$$\sin \varphi_{1k} = 0; \varphi_{1k} = k\pi$$

$$\mu_k \cos(\mu_k \gamma_k + \varphi_{nk}) = 0$$

$$\varphi_{nk} = \frac{4k \pm 1}{2} \pi - \mu_k \gamma_n$$

$$A_{i-1,k} = B_{i-1,k} \cdot A_{1k}, (i = 3, \dots, n), B_{1k} = 1,$$

$$B_{ik} = \frac{\prod_{m=1}^{i-1} \sin(\mu_k \gamma_m + \varphi_{mk})}{\prod_{m=1}^i \sin \varphi_{mk}}, (i = 2, \dots, n)$$

$$A_{1k} = \frac{\sum_{i=1}^n V_i B_{ik} \int_0^{\gamma_i} (f_i(\gamma_i) - C_0) \sin(\mu_k \theta_i + \varphi_{ik}) d\theta_i}{\sum_{i=1}^n V_i B_{ik}^2 \int_0^{\gamma_i} \sin^2(\mu_k \theta_i + \varphi_{ik}) d\theta_i}$$

Произвольные постоянные  $A_{1k}$  определяются из условий ортогональности функций  $Y_{ik} = A_{ik} \sin(\mu_k \theta_i + \varphi_{ik})$  на отрезке  $\sum_{i=1}^n \gamma_i$

$$\sum_{i=1}^n V_i \int_0^{\gamma_i} Y_{ik}(\theta_i) Y_{jk}(\theta_i) d\theta_i = \begin{cases} \text{const}, k = j \\ 0, k \neq j \end{cases},$$

$$A_{ik} = \frac{\sum_{i=1}^n V_i B_{ik} \int_0^{\gamma_i} (f_i(\gamma_i) - C_0) \sin(\mu_k \theta_i + \varphi_{ik}) d\theta_i}{\sum_{i=1}^n V_i B_{ik}^2 \int_0^{\gamma_i} \sin^2(\mu_k \theta_i + \varphi_{ik}) d\theta_i}.$$

В качестве примера рассмотрим случай  $n = 2, f_i(\theta_i) = 0$

$$C(\theta, \tau) = C_0 - \frac{V_1 C_0}{a_1} \sum_{k=0}^{\infty} \frac{e^{-\mu_k^2 \tau}}{\mu_k \|Y\|^2} \begin{cases} \sin a_1 \mu_k \theta, 0 \leq \theta \leq \theta_1 \\ \sin a_1 \mu_k \theta_1 \cdot \cos a_2 \mu_k (\theta_0 - \theta), \theta_1 < \theta < \theta_0 \\ \cos a_2 \mu_k \theta_2 \end{cases}$$

$\mu_k$  - корни уравнения

$$D_2 \operatorname{tg}(\mu_k \gamma_1 + \varphi_{1k}) = D_1 \operatorname{tg} \varphi_{2k}$$

$$D_2 \operatorname{tg}(\mu_k \gamma_1 + k\pi) = D_1 \operatorname{tg} \left( \frac{4k \pm 1}{2} \pi - \mu_k \gamma_2 \right)$$

$$D_1 \operatorname{ctg} \mu_k \gamma_1 = D_2 \operatorname{tg} \mu_k \gamma_2$$

$$\|Y\|^2 = \frac{V_1}{2} \gamma_1 + \frac{V_2}{2} \gamma_2 \frac{\sin^2 \mu_k \gamma_1}{\cos^2 \mu_k \gamma_2}$$

### Литература

- [1] Scheidegger A.E., *Statistical Hydrodynamics in porous media*. J. Appl. Phys., 1954, № 8, p. 994 – 1001.
- [2] Николаеский В.Н., *Конвективная диффузия в пористых средах*. – Изв. АН СССР, ОТН, ПММ, 1959, т. XXIII, в.6, с. 1024 – 1050.
- [3] Куликов А.Н. *Уравнение радиальной гидродинамической дисперсии и его общие интегралы*. – В кн.: *Движение растворимых примесей в фильтрационных потоках*. Тула, 1983, с. 15 – 20.

**Куликов Анатолий Николаевич** – канд. пед. наук, доцент КГУ им. К.Э. Циолковского. E-mail: ivk-60@mail.ru.

**Горбунов Александр Константинович** – д-р физ.-мат. наук, заведующий кафедрой "Физика" КФ МГТУ им. Н.Э. Баумана. E-mail: kf\_MGTU\_FIZ@mail.ru.

**Цаплина С.Ф.** – ассистент кафедры "Физика" КФ МГТУ им. Н.Э. Баумана. E-mail: caplina.svetlana@bk.ru.

A.N. Kulikov, A.K. Gorbunov, S.F. Tsaplina

## **ON THE HYDRODYNAMIC DISPERSION BY FILTRATION IN A LAYERED AND A WEDGE-SHAPED AREA**

Bauman Moscow State Technical University, Kaluga Branch, Kaluga, 248000, Russia

*In the article it is proposed a solution of the boundary problem for the equation of hydrodynamic dispersion. It is assumed that the filtration flow is concentrated in a wedge-shaped piecewise homogeneous region, which is limited by soluble base and impervious roof. It is also assumed that the dissolution process was long-established, the impurity is neutral, i.e. it is not changed the hydrodynamic properties of the medium, flow rates are such that convective transfer dominates over molecular diffusion in the direction of the flow velocity. In the direction perpendicular to the flow rate, the coefficient of hydrodynamic dispersion is assumed linearly dependent on speed. To describe the concentration field in the considered wedge-shaped piecewise homogeneous area differential equation was proposed, its solution was obtained under appropriate conditions on the boundary and interface conditions, i.e. equal concentrations and fluxes at the boundaries of the inner regions. By the method of Fourier analytic solution of the task was obtained. For the special case of homogeneous region from this solution follow the results that coincide with previously obtained data.*

**Key words:** hydrodynamic dispersion, convective diffusion, mass transfer.

### **LITERATURA**

[1] Scheidegger A.E. *Statistical Hydrodynamics in porous media*. J. Appl. Phys., 1954, v.25, №8, p.994-1001.

[2] Nikolaevskij V.N. *Konvektivnaya diffuziya v poristykh sredakh*. Izv. AN SSSR, OTN, PMM, 1959, t.XXIII, v.6, s.1042-1050.

[3] Kulikov A.N. *Uravnenie radialnoj gidrodinamicheskoy dispersii i ego obshye integrali*. V kn.: Dvigenie rastvorimih primesey v filtracionnih potokah. Tula, 1983, s.15-20.

**Kulikov Anatoly**, Ph. D., Assoc. Professor of Tsiolkovsky Kaluga State University. E-mail: ivk-60@mail.ru.

**Gorbunov Aleksander Konstantinovich**, Dr. Sci. (Phys.&Math.), the Head of the Physics Department of the Kaluga Branch of the Bauman Moscow State Technical University. E-mail: kf\_MGTU\_FIZ@mail.ru.

**Tsaplina Svetlana**, the Senior Lecturer of the Physics Department of Kaluga Branch of Bauman Moscow State Technical University. E-mail: caplina.svetlana@bk.ru.

**ПРОБЛЕМЫ ФУНКЦИОНИРОВАНИЯ КАТАЛИЗАТОРОВ,  
УТИЛИЗИРУЮЩИХ ВОДОРОД В АТОМНЫХ  
ЭНЕРГЕТИЧЕСКИХ УСТАНОВКАХ.**

КФ МГТУ им. Н.Э. Баумана, Калуга, 248000, Россия

*В данной работе рассмотрены проблемы функционирования катализаторов, утилизирующих водород при обеспечении водородной безопасности в атомных энергетических установках и физические процессы, происходящие при взаимодействии водорода с оксидом меди и серебра на основе рассмотрения комплексного кинетического процесса конденсации газа в твёрдом теле. В установках с опасным радиолизом при разгерметизации первого контура необходимо локализовать радиоактивные вещества. При аварийных ситуациях выполняется сбор радиолитических газов с последующей утилизацией с использованием различных катализаторов. Решение данной проблемы заключается в локализации последствий разгерметизации энерготехнологических установок путем поиска новых эффективных материалов. Проанализированы физико-химические процессы происходящие на поверхности катализаторов с учетом физических понятий, таких как перенос (транспортировка) вещества и энергии с учетом градиентов, которые характеризуются коэффициентами диффузии, теплопроводности и вязкости.*

**Ключевые слова:** водородная безопасность, утилизация водорода, катализатор, конденсация водорода.

Твердые и жидкие конденсированные среды в различных условиях внешнего воздействия проявляют интересные, а иногда неожиданные свойства. В последнее время оксиды меди и серебра находятся в центре внимания исследователей в области физики конденсированного состояния из-за обнаруженных у них уникальных свойств, прежде всего каталитических. Физические процессы, протекающие при конденсации водорода, вызывают особый интерес в связи с необходимостью обеспечения водородной безопасности в атомных энергетических установках. Использование процесса конденсации водорода в теле оксидных материалов может обеспечить этому технологическому процессу связывания газа характерные свойства, из которых необходимо отметить: наименьшие массогабаритные характеристики и надежность функционирования энерготехнологической

установки после длительного хранения по регламенту аварийной готовности. Отличительной особенностью является избирательный метод конденсации газообразного водорода, прежде всего в оксидах. Конденсацию водорода в твердом теле можно представить как комплексный процесс.

### **Проблемы безопасности и взрывозащищенность реакторных установок**

Основная проблема безопасности – отсутствие надежных методов локализации аварийных течей теплоносителя в герметичных атомных энергетических установках, поскольку в случае образования гремучей смеси происходит взрыв и разрушение оборудования, которые приводят к выбросу радиоактивных веществ в окружающую среду (ОС) [1]. В настоящее время используются как одноконтурные корпусные кипящие реакторы (BWR), так и двухконтурные атомные энергетические установки с водой под давлением (PWR). Первые модернизируются с целью повышения надежности вывода из аварийных ситуаций, однако, несмотря на широкий спектр исследований [2] проблема взрывозащищенности до конца не решена. Физико-химические процессы происходящие при работе одноконтурного кипящего реактора заключаются в следующем: при выдаче пара из реактора на турбину происходит как генерация водорода, так и его непрерывное удаление в конденсатор турбины вместе с паром. Радиолитический теплоноситель в кипящем реакторе протекает более интенсивно, чем в водоводяных реакторах под давлением, так как традиционный аммиачный метод подавления радиолитического процесса в одноконтурных установках неприменим. В данных установках происходит кипение воды, разделение фаз и вынос радиолитических газов с паром. При этом в парогенерирующих элементах отсутствуют условия по рекомбинации радиолитических газов. Скорость радиолитического процесса в одноконтурных установках возрастает с увеличением температуры в аварийных ситуациях. При нарушении барьера герметичности первого контура проблема водородной безопасности становится более чем актуальной.

При эксплуатации энерготехнологической установки в нормальном режиме максимальная объемная концентрация водорода, зафиксированная на выходе из систем конденсатора, порядка 10%, что несколько ниже взрывоопасного значения, который считают равным более 12%. Информативным параметром взрывоопасности конденсатора является, кроме объемной концентрации водорода, давление в охладителе газов. Это связано с тем, что смесь водорода с циркулирующими газами взрывоопасна при давлении более 16 кПа, а давление, наблюдаемое в конденсаторе, – порядка 5 кПа. По общепринятой технологии после эжекторов турбины парогазовая смесь вместе с продуктами радиолитического процесса поступает в контур сжигания газовой смеси (КСГС). Решение проблемы взрывозащищенности на специальной установке – КСГС – заключается в предварительном осушении парогазовой смеси, поскольку применяемые катализаторы теряют эффективность при высокой влажности из-за того, что вода превращается в пар, образует

реверсивный поток от активной поверхности катализатора и препятствует доступу водорода и кислорода к ней. Понижение влажности смеси перед входом её в контактный аппарат в теплообменнике позволяет уменьшить реверсивный поток и обеспечить нормальный режим сжигания.

Кроме проблем с катализаторами слабым звеном энерготехнологических установок с потенциально опасным радиолизом является то, что в аварийных ситуациях при разгерметизации первого контура необходимо локализовать радиоактивные вещества в замкнутом объеме. Для этого создают специальные барьеры безопасности – защитные оболочки. В пределах проектных и запроектных аварийных ситуаций выполняется сбор радиолитических и других газов с последующей утилизацией с использованием различных катализаторов.

### **Катализаторы и основные приемы их использования**

Согласно [3], катализ – это изменение скорости химической реакции или её возбуждение при воздействии веществ, называемых катализаторами. Все каталитические реакции в термодинамическом отношении являются самопроизвольными процессами и сопровождаются уменьшением свободной энергии. Если катализатор и реагирующие вещества находятся в одной и той же фазе, то катализ называют гомогенным, а если в разных, т. е. если имеется граница раздела, – он носит название гетерогенного, или контактного. Процесс конденсации водорода в оксидах близок по физической природе к гетерогенному каталитическому процессу.

Гетерогенно-каталитическая реакция состоит из нескольких стадий, таких как транспортировка (диффузия) компонентов к катализатору, адсорбция, химическое превращение (кинетика) на поверхности, десорбция и реверсивный газосброс продуктов реакции. Если иметь в виду твердые катализаторы, то механизм действия их различен, и пока не существует единой теории подбора катализаторов [3].

В технологии утилизации газовой смеси в КСГС применяют катализаторы из платины, родия, осмия, рутения и палладия .

Свойства этих материалов хорошо изучены, так же как и особенности их использования в качестве катализаторов.

Однако их уникальные каталитические свойства теряются при преобразовании воды на их рабочих поверхностях. Катализаторы весьма дороги даже для использования в малогабаритных аварийных устройствах.

В последнее время ученые и специалисты в промышленности концентрируют интерес на особых свойствах оксидов. На это обращено внимание, например, в работах .

С учетом многообразия физико-химических процессов, происходящих на поверхности, как катализаторов, так и в оксидах, целесообразно проанализировать их детально с учетом известных физических понятий и закономерностей, в том числе и при переносе (транспортировке) вещества и энергии при наличии градиентов , таких как:

- $\text{grad } T$  – градиент температуры;
- $\text{grad } C$  – градиент концентрации вещества;
- $\text{grad } V$  – градиент скорости.

Наличие градиентов температуры, вещества и скорости обуславливает:

- передачу энергии в результате теплопроводности;
- молекулярно-диффузионный перенос вещества;
- транспортировку импульса.

Перенос вещества, энергии и импульса при наличии перечисленных градиентов определяется внутренними свойствами субстанции, которые характеризуются коэффициентами диффузии, теплопроводности и вязкости .

#### Список литературы

[1] Лысенко А.Л. *Физические процессы протекающие при сжигании титана в среде азота, и разработка на их основе технологии вакуумирования*. Автореферат диссертации на соискание ученой степени кандидата технических наук. – М.: из-во МГТУ им. Н.Э Баумана, 2008.

[2] Лысенко А.Л., Горбунов А.К., Грачев В.В., Буланов А.В. Физико-химические процессы в технологии вакуумирования при сжигании порошка титана в среде азота. *Научно-технические ведомости ВУЗов*, 2008, №10, с.14 .

[3] Лысенко Л.В., Буланов А.В., Лысенко А.Л. *Оценка кинетики энерготехнологических процессов*. В сб.: Энерготехнологические процессы. Проблемы и перспективы. Москва, Изд-во МГТУ им. Н.Э.Баумана, 2004, с.11 .

**Лысенко Андрей Леонидович** – канд. техн. наук, доцент КФ МГТУ им. Н.Э. Баумана. E-mail: baldqwest@mail.ru.

**Лысенко Сергей Леонидович** – канд. техн. наук, младший научный сотрудник НИС КФ МГТУ им. Н.Э. Баумана. E-mail: baldqwest@mail.ru.



UDK 53.088

A.L. Lysenko, S.L. Lysenko

## **PROBLEMS FUNCTIONING CATALYSTS UTILIZING HYDROGEN IN NUCLEAR POWER**

Bauman Moscow State Technical University, Kaluga Branch, Kaluga, 248000, Russia

*In this paper we consider the problem of the functioning catalysts utilizing hydrogen in providing hydrogen safety in nuclear power plants and the physical processes occurring in the interaction of hydrogen with the oxide of copper and silver based on the consideration of complex kinetic process gas condensation in a solid. In installations with dangerous radiolysis at depressurization of the primary circuit must locate radioactive substances. In emergencies collects radiolytic gases with subsequent utilization using different catalysts. The solution to this problem is to localize the effects of depressurization power technology units by searching new effective materials. The physicochemical processes occurring on the surface of the catalysts based on physical concepts, such as transport (transportation) of matter and energy, determined by the internal properties of the substance, taking into account gradients, which are characterized by the diffusion coefficient, thermal conductivity and viscosity.*

**Keywords:** *hydrogen safety, utilization of hydrogen, the catalyst, the condensation of hydrogen*

### Literature

[1] Lysenko A.L. *Physical processes taking place during the combustion of titanium in nitrogen medium, and development on their basis of technology of vacuum*. The dissertation on competition of a scientific degree of candidate of technical Sciences.- M.: MGTU im. N.E. Baumana, 2008.

[2] Lysenko A.L., Gorbunov A.K., Grachev V.V., Bulanov A.V. Physical-chemical processes in technology of vacuum-treated by burning titanium powder in nitrogen medium. - M.: *Scientific technologies*, 2008, №10, c.14.

[3] Lysenko L.V., Bulanov A.V., Lysenko A.L. *Assessment of kinetic energy technological processes. Energy-technological processes. Problems and prospects*. - M.: MGTU im. N.E. Baumana, 2008, c.11.

**Lysenko Andrey Leonidovich**, Ph. D., Assoc. Professor of the Kaluga Branch of the Bauman Moscow State Technical University. E-mail: natakir21@gmail.com.

**Lysenko Sergey Leonidovich**, Ph. D., Research Associate NIS of the Physics Department of the Kaluga Branch of the Bauman Moscow State Technical University. E-mail: silaeva1968@list.ru.

УДК 517.926; 51-73; 537.533.9

В.В. Калманович, М.А. Степович, Е.В. Серегина,  
А.К. Горбунов

**РАСПРЕДЕЛЕНИЕ НЕОСНОВНЫХ НОСИТЕЛЕЙ ЗАРЯДА  
ПОСЛЕ ИХ ДИФФУЗИИ ОТ ТОНКОГО ПЛАНАРНОГО  
ИСТОЧНИКА В ПОЛУБЕСКОНЕЧНОМ  
ПОЛУПРОВОДНИКОВОМ МАТЕРИАЛЕ С ДЕФЕКТАМИ НА  
ПОВЕРХНОСТИ**

КФ МГТУ им. Н.Э. Баумана, Калуга, 248000, Россия

*Методами математического моделирования рассмотрена задача диффузии неосновных носителей заряда (ННЗ), генерированных в полупроводнике широким электронным пучком. Изучено влияние дефектов на поверхности полупроводника на распределение ННЗ после их диффузии от тонкого планарного источника в полубесконечном полупроводнике. Расчеты проведены для различных материалов полупроводниковой электроники.*

**Ключевые слова:** *распределение неосновных носителей заряда, дефект, полупроводниковые материалы, электронный пучок.*

**Введение.** Согласно так называемой модели независимых источников, на диффузию генерированных электронным пучком неравновесных ННЗ из любого микрообъёма проводника не оказывают влияния другие электроны или дырки (из других микрообластей материала). В этом случае для одномерной диффузии в полубесконечный полупроводник распределение избыточных ННЗ по глубине даётся выражением

$$\Delta p(z) = \int_0^{\infty} \Delta p(z, z_0) dz_0.$$

Здесь функция  $\Delta p(z, z_0)$  описывает распределение по глубине ННЗ, генерированных плоским бесконечно тонким источником, находящимся на глубине  $z_0$ ,  $z_0 \in [0, \infty)$ ;  $z$  – координата, отсчитываемая от плоской поверхности вглубь проводника. Распределение  $\Delta p(z, z_0)$  находится как решение дифференциального уравнения

$$D \frac{d^2 \Delta p(z, z_0)}{dz^2} - \frac{\Delta p(z, z_0)}{\tau_0} = -\rho(z) \delta(z - z_0)$$

с граничными условиями

$$D \frac{d\Delta p(z, z_0)}{dz} \Big|_{z=0} = v_s \Delta p(0, z_0), \quad \Delta p(\infty, z_0) = 0,$$

где  $\rho(z)$  – число НЗ, генерируемых вследствие внешнего воздействия в единицу времени в тонком слое мишени на глубине  $z$ , Значения  $\rho(z)$  могут быть определены из соотношения для плотности энергии  $\rho^*(z)$ , выделяемой в этом слое мишени в единицу времени (делением  $\rho^*(z)$  на энергию образования электронно-дырочной пары).  $D$ ,  $\tau_0$  и  $v_s$  – коэффициент диффузии, время жизни и скорость поверхностной рекомбинации НЗ соответственно,  $\delta(z - z_0)$  – дельта-функция.

Идея решения этого уравнения для однородного полупроводникового материала приведена в [1, 2, 3], а различные варианты её использования применительно к планарным полупроводниковым структурам – в [4 – 8]. В рассматриваемом случае для однородного материала

$$\Delta p(z, z_0) = \begin{cases} \frac{\tau_0}{2L} \rho(z_0) \exp\left(-\frac{z_0}{L}\right) \left[ \exp\left(\frac{z}{L}\right) - \frac{S-1}{S+1} \exp\left(-\frac{z}{L}\right) \right] & \forall z \in [0, z_0], \\ \frac{\tau_0}{2L} \rho(z_0) \exp\left(-\frac{z}{L}\right) \left[ \exp\left(\frac{z_0}{L}\right) - \frac{S-1}{S+1} \exp\left(-\frac{z_0}{L}\right) \right] & \forall z \in [z_0, \infty]. \end{cases}$$

Здесь  $L = \sqrt{D\tau_0}$  – диффузионная длина НЗ,  $S = v_s L / D$  – приведённая скорость поверхностной рекомбинации.

В реальных полупроводниках существуют как собственные, так и несобственные дефекты. Ранее в основном исследовались единичные дефекты в приповерхностной области, например [11, 13, 14], в этих ситуациях задача диффузии решалась с помощью трехмерной модели. Случаи, когда дефекты концентрируются в основном на поверхности ранее не рассматривались.

В полупроводниковом материале возможно большое количество дефектов как на поверхности, так и в объеме. В данной работе рассмотрим случай, когда на поверхности концентрация дефектов существенно выше, и при моделировании концентрацией дефектов в объеме можно пренебречь. Тогда возможно использование модели независимых источников

**Постановка задачи.** Рассмотрим влияние дефектов на поверхности полупроводника на распределение НЗ  $\Delta p(z, z_0)$  после их диффузии от тонкого планарного источника, находящегося на глубине  $z_0$ . В этом случае время жизни НЗ описывается соотношением, указанным в [10], которое в рамках модели независимых источников можно записать в виде:

$$\frac{1}{\tau(z)} = \frac{1}{\tau_0} + \frac{b}{\tau_1} \delta(z),$$

где  $\tau_0$  – время жизни НЗ в области без дефекта,  $\tau_1$  – время жизни НЗ внутри дефекта,  $b$  – физический размер дефекта,  $\delta(z)$  – дельта-функция, а дифференциальное уравнение принимает вид:

$$D \frac{d^2 \Delta p(z, z_0)}{dz^2} - \left( \frac{1}{\tau_0} + \frac{b}{\tau_1} \delta(z) \right) \Delta p(z, z_0) = -\rho(z) \delta(z - z_0)$$

с граничными условиями:

$$D \frac{d \Delta p(z, z_0)}{dz} \Big|_{z=0} = v_s \Delta p(0, z_0), \quad \Delta p(\infty, z_0) = 0.$$

В работе [11] получено решение этого уравнения:

$$\Delta p(z, z_0) = \begin{cases} \frac{L}{2DS_1} \rho(z_0) \exp\left(-\frac{z_0}{L}\right) \left[ S_1 \exp\left(\frac{z}{L}\right) + \exp\left(-\frac{z}{L}\right) \right] & \forall z \in [0, z_0], \\ \frac{L}{2DS_1} \rho(z_0) \left[ S_1 \exp\left(\frac{z_0}{L}\right) + \exp\left(-\frac{z_0}{L}\right) \right] \exp\left(-\frac{z}{L}\right) & \forall z \in [z_0, \infty]. \end{cases}$$

Здесь  $L = \sqrt{D\tau_0}$  – диффузионная длина НЗ, коэффициент  $S_1 = (D/L + v_s + b/\tau_1) / (D/L - v_s - b/\tau_1)$ .

Для расчётов распределений НЗ в случаях однородного полупроводника и полупроводника с дефектами на поверхности были взяты следующие значения электрофизических параметров:  $L = 1$  мкм,  $\tau_0 = 10^{-8}$  с,  $\tau_1 = 10^{-11}$  с,  $D = 10^8$  мкм<sup>2</sup>/с,  $v_s = 10^7$  мкм/с, энергия первичных электронов пучка  $E_0 = 20$  кэВ, мощность пучка первичных электронов  $P_0 = 10$  Вт, – размер дефекта принимался равным  $10^{-2}$  мкм. Расчёт значений  $\rho(z_0)$  проводился с помощью полученных для диффузионной модели формул, указанных в [1]:

$$\rho^*(z) = \frac{1,085(1-\eta)P_0}{\sqrt{\pi}(1-\eta+\eta z_{ss}/z_{ms})} \left( \exp\left[-\left(\frac{z-z_{ms}}{z_{ms}}\right)^2\right] + \frac{\eta}{\eta+1} \exp\left[-\left(\frac{z-z_{ss}}{z_{ss}}\right)^2\right] \right),$$

где  $\eta = 0,024eZ^{5/3}/A$  – коэффициент обратного рассеяния электронов пучка,  $Z$  и  $A$  – соответственно атомный вес и порядковый номер элемента в периодической таблице,  $z_{ms}$  – глубина максимальных потерь энергии первичными электронами, испытавшими малоугловое рассеяние и поглощённых мишенью,  $z_{ss}$  – глубина максимальных потерь энергии обратно рассеянными электронами. Значения  $z_{ms}$  и  $z_{ss}$  вычислены по формулам [9]:

$$z_{ms} [\text{мкм}] = \frac{1,38 \cdot 10^{-2} A E_0^{5/3}}{\rho(z_0) Z^{8/9}} \left( 1 - \frac{0,042 Z^{4/3}}{(1 + 0,187 Z^{2/3})^2} \right),$$

$$z_{ss} = Z^{-1/3} z_{ms},$$

где  $E_0$  измеряется в кэВ.

Результаты расчётов при различных  $z_0$  для разных материалов представлены на рис. 1–3. Влияние точечного дефекта на поверхности материала на распределение НЗ в результате их диффузии от источника, находя-

щегося на глубине  $z_0$ , показано для кремния на рис. 1, для арсенида галлия на рис. 2, для теллурида кадмия на рис. 3. Пунктиром обозначено распределение  $\Delta p(z, z_0)$  в полупроводнике с дефектом на поверхности, сплошной линией – распределение  $\Delta p(z, z_0)$  в однородном материале.

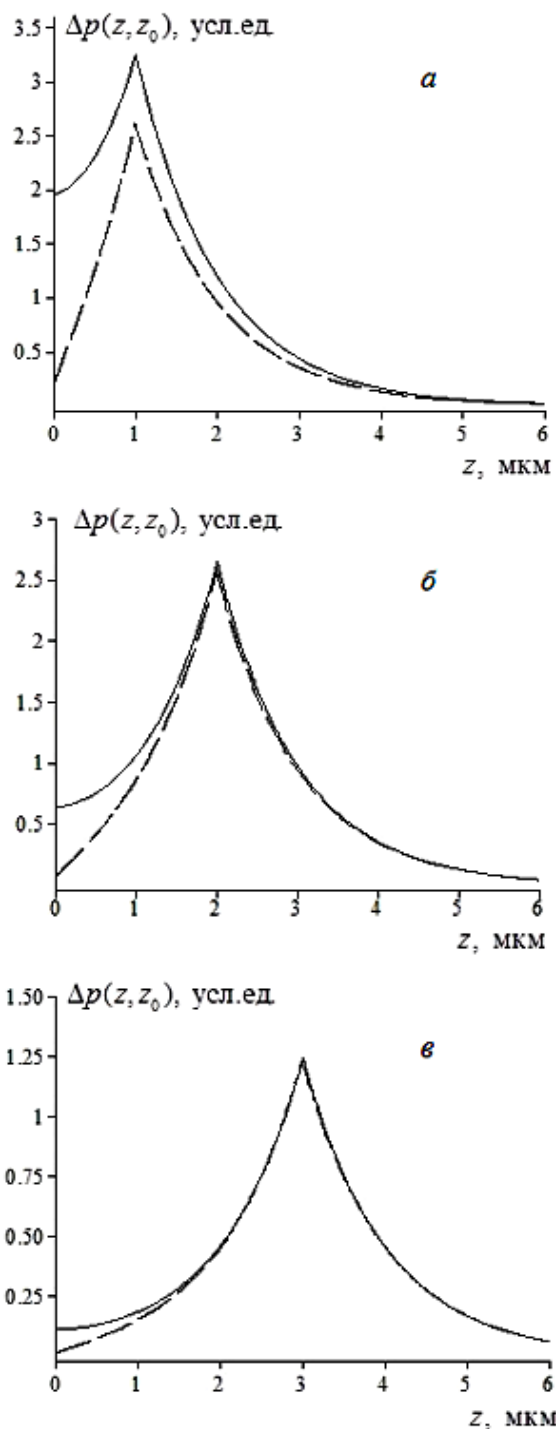


Рис. 1. Распределение ННЗ после их диффузии от тонкого планарного источника, находящегося на глубине  $z_0$  под поверхностью полупроводника, в материале с дефектом (пунктирная линия) и без дефекта (сплошная линия).  
Материал Si: (а)  $z_0 = 1$  мкм, (б)  $z_0 = 2$  мкм, (в)  $z_0 = 3$  мкм.

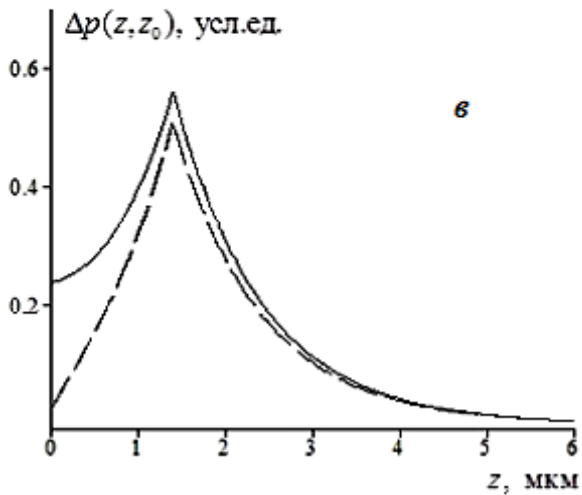
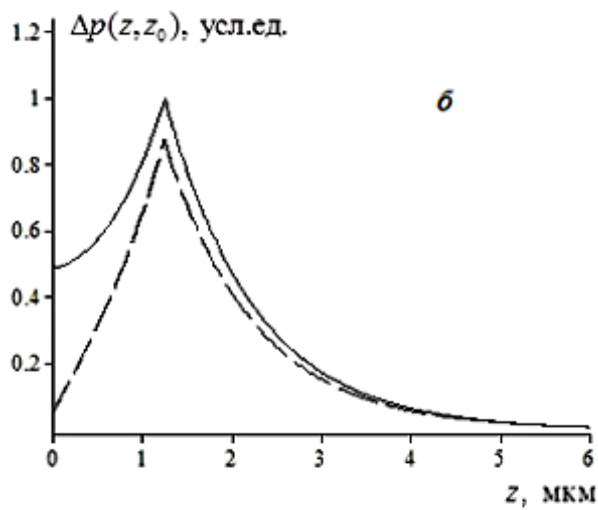
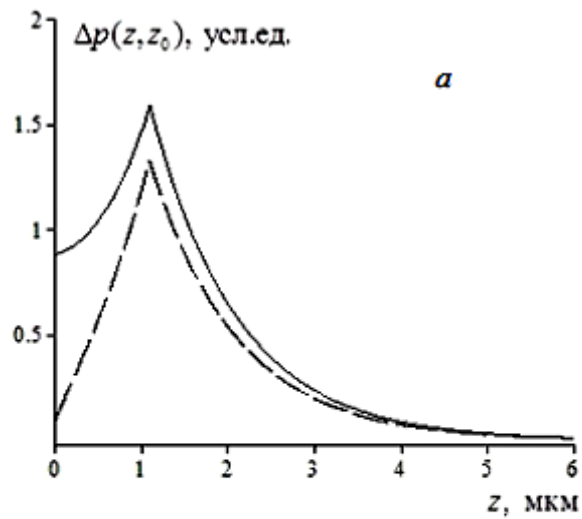


Рис. 2. Распределение ННЗ после их диффузии от тонкого планарного источника, находящегося на глубине  $z_0$  под поверхностью полупроводника, в материале с дефектом (пунктирная линия) и без дефекта (сплошная линия).  
 Материал GaAs: (а)  $z_0 = 1,1$  мкм, (б)  $z_0 = 1,25$  мкм, (в)  $z_0 = 1,4$  мкм.

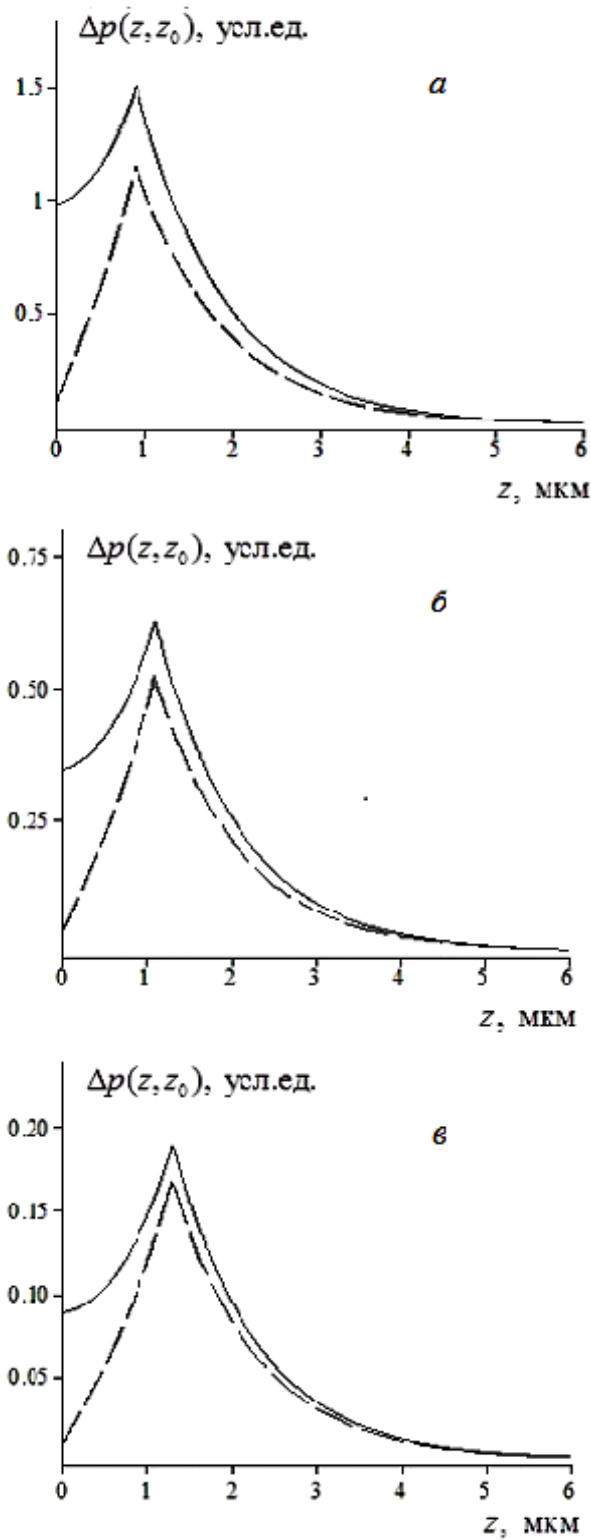


Рис. 3. Распределение ННЗ после их диффузии от тонкого планарного источника, находящегося на глубине  $z_0$  под поверхностью полупроводника, в материале с дефектом (пунктирная линия) и без дефекта (сплошная линия).  
 Материал CdTe: (а)  $z_0 = 0,9$  мкм, (б)  $z_0 = 1,1$  мкм, (в)  $z_0 = 1,3$  мкм.

Влияние дефекта на распределение ННЗ по глубине полупроводника уже достаточно заметно при  $v_s \leq 10^9$  мкм/с. В частности, при  $v_s = 10^7$  мкм/с и  $z = 0$  мкм, отношение

$$\frac{|\Delta p_{def}(z, z_0) - \Delta p(z, z_0)|}{|\Delta p(z, z_0)|} \cdot 100\%$$

составляет 47,6% для любого материала и при любом  $z_0$  [13].

Также можно оценить влияние точечного дефекта на поверхности полупроводника на распределение ННЗ по глубине с помощью отношения:

$$\delta = \frac{\|\Delta p_{def}(z, z_0) - \Delta p(z, z_0)\|}{\|\Delta p(z, z_0)\|} \cdot 100\% .$$

Значение  $\delta$  убывает с увеличением  $z_0$  и при фиксированном  $z_0$  будет одинаковым для любого материала. Зависимость  $\delta$  от значений  $z_0$  представлена на рис. 4.

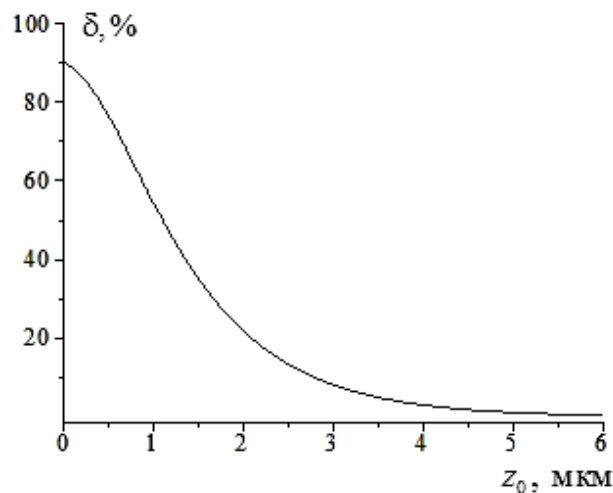


Рис. 4. Оценка  $\delta$  влияния дефекта на поверхности полупроводника на распределение ННЗ после их диффузии от тонкого планарного источника, находящегося на глубине  $z_0$ .

**Выводы.** В работе показано влияние дефекта на поверхности на примере различных полупроводниковых материалов на распределение ННЗ после их диффузии от тонкого планарного источника, находящегося на глубине  $z_0$ , а также дана оценка этого влияния. В данной работе решен первый этап задачи о распределении избыточных ННЗ по глубине после их диффузии в полупроводник с дефектами на поверхности.

Исследования проведены при частичной финансовой поддержке Минобрнауки РФ (проект № 1.6107.2011), а также Российского фонда фундаментальных исследований и правительства Калужской области (проект № 14-42-03062).



## ЛИТЕРАТУРА

- [1] Михеев Н.Н., Никоноров И.М., Петров В.И., Степович М.А. Определение электрофизических параметров полупроводников в растровом электронном микроскопе методами наведённого тока и катодолюминесценции. *Известия АН СССР. Серия физическая*, 1990, Т. 54, № 2, с. 274–280.
- [2] Белов А.А., Петров В.И., Степович М.А. Использование модели независимых источников для расчета распределения неосновных носителей заряда, генерированных в полупроводниковом материале электронным пучком. *Известия АН. Серия физическая*, 2002, Т. 66, №9, с. 1317–1322.
- [3] Степович М.А. Оценка точности расчёта распределений неосновных носителей заряда, генерированных в полупроводниковом материале электронным пучком. *Известия РАН. Серия физическая*, 2003, Т. 67, № 4, с. 588–592.
- [4] Степович М.А., Снопина М.Г., Хохлов А.Г. Использование модели независимых источников для расчёта распределения неосновных носителей заряда, генерированных в двухслойном полупроводнике электронным пучком. *Прикладная физика*, 2004, № 3, с. 61–65.
- [5] Khokhlov A.G., Snopova M.G., Stepovich M.A. Simulation of the Distribution of Minority Carriers, Generated in a Two-Layer Semiconductor Structure by a Wide Electron Beam. *Crystallography Reports*, 2004, V. 49, Suppl. 1, pp. S114–S117.
- [6] Stepovich M.A., Khokhlov A.G., Snopova M.G. Model of independent sources used for calculation of distribution of minority charge carriers generated in two-layer semiconductor by electron beam. *Proc. SPIE*, 2004, V. 5398, pp. 159–165.
- [7] Burylova I.V., Petrov V.I., Snopova M.G., Stepovich M.A. Mathematical simulation of distribution of minority charge carriers, generated in multilayer semiconducting structure by a wide electron beam. *Физика и техника полупроводников*, 2007, Т. 41, вып. 4, с. 458–461.
- [8]. Снопина М.Г., Бурылова И.В., Петров В.И., Степович М.А. Анализ модели распределений неосновных носителей заряда, генерированных в трёхслойной полупроводниковой структуре широким электронным пучком. *Поверхность. Рентгеновские, синхротронные и нейтронные исследования*, 2007, № 7, с. 1–6.
- [9] Михеев Н.Н., Петров В.И., Степович М.А. Количественный анализ материалов полупроводниковой оптоэлектроники методами растровой электронной микроскопии. *Известия АН СССР. Серия физическая*. Т. 55. №8, 1991, с. 1474–1482.
- [10] J.W.P. Hsu. Near-field scanning optical microscopy studies of electronic and photonic materials and devices. *Materials Science and Engineering*, 2001, vol. 33, pp. 1-50.

[11] Калманович В.В., Серегина Е.В., Степович М.А. Нахождение распределения неосновных носителей заряда, генерированных электронным пучком в полупроводниковом материале с дефектом на поверхности. *Научные труды Калужского государственного университета имени К.Э. Циолковского. Серия: Естественные науки.* 2014. Калуга, Издательство КГУ имени К.Э. Циолковского, 2014, с. 39–42.

[12] Калманович В.В., Серегина Е.В., Степович М.А. О влиянии точечного дефекта на поверхности полупроводника на распределение неосновных носителей заряда, генерированных электронным пучком в полупроводниковых материалах. *Вестник Калужского университета*, 2014, №1, с. 23–26.

[13] Q. Xu, M.H. Gray, J.W.P. Hsu. Resolution and contrast in near-field photocurrent imaging of defects on semiconductors. *Journal of Applied Physics*, 82 (2), 1997, pp. 748–755.

[14] C. Donolato, H. Klann. Computer simulation of SEM electron beam induced current images of dislocations and stacking faults. *Journal of Applied Physics*, 51 (3), 1980, pp. 1624–1623.

**Калманович Вероника Валерьевна** – ст. преп. КГУ им. К.Э. Циолковского. E-mail: veronique@ukr.net.

**Степович Михаил Адольфович** – д-р физ.-мат. наук, профессор, КГУ им. К.Э. Циолковского. E-mail: m.stepovich@gambler.ru.

**Серегина Елена Владимировна** – ассистент кафедры "Системы автоматического управления" КФ МГТУ им. Н.Э. Баумана. E-mail: evfs@yandex.ru.

**Горбунов Александр Константинович** – д-р физ.-мат. наук, заведующий кафедрой "Физика" КФ МГТУ им. Н.Э. Баумана. E-mail: kf\_MGTU\_FIZ@mail.ru.

UDK 517.926; 51-73; 537.533.9

V.V. Kalmanovich, M.A. Stepovich, E.V. Seregina,  
A.K. Gorbunov

**DISTRIBUTION OF MINORITY CARRIERS AFTER THEIR  
DIFFUSION FROM THIN PLANAR POWER  
IN SEMICONDUCTOR MATERIALS INTO A SEMI-INFINITE  
WITH DEFECTS ON THE SURFACE**

Bauman Moscow State Technical University, Kaluga Branch, Kaluga,  
248000, Russia

*By methods of mathematical modeling we considered the problem of minority carrier (MC) diffusion, generated in the semiconductor by wide electron beam. The influence of defects on the semiconductor surface on the distribution of MC after their diffusion from a thin planar source in a semi-infinite semiconductor was investigated. The calculations were performed for various materials of semiconductor electronics.*

**Key words:** *distribution of minority carriers, defect, semiconductor materials, electron beam.*

**references**

- [1] Mikheev N.N., Nikonorov I.M., Petrov V.I., Stepovich M.A. Determining the Electrophysical Parameters of Semiconductors in a Raster Electron Microscope by the Induced-Current and Cathodoluminescence Methods. *Bulletin of the Academy of Sciences of the USSR. Physical Series*, 1990, vol. 54, No. 2, pp.82-88.
- [2] Belov A.A., Petrov V.I., Stepovich M.A. Using the model of independent sources to calculate the distribution of minority carriers generated in the semiconductor material of the electron beam. *Izvestiya AN. Seriya Fizicheskaya*, 2002, vol. 66, No. 9, pp. 1317–1322 (in Russian).
- [3] Stepovich M.A. Estimation of accuracy of calculation of the distributions of the minority charge carriers generated in the semiconductor material by the electron beam. *Izvestiya RAN. Seriya Fizicheskaya*, 2003, vol. 67, No. 4, pp. 588–592 (in Russian).
- [4] Stepovich M.A., Khokhlov A.G., Snopova M.G. Model of independent sources used for calculation of distribution of minority charge carriers generated in two-layer semiconductor by electron beam. *Proc. SPIE*, 2004, V. 5398, pp.159-165.
- [5] Khokhlov A.G., Snopova M.G., Stepovich M.A. Simulation of the Distribution of Minority Carriers, Generated in a Two-Layer Semiconductor Structure by a Wide Electron Beam. *Crystallography Reports*, 2004, V. 49, Suppl. 1, pp. S114–S117.

[6] Stepovich M.A., Khokhlov A.G., Snopova M.G. Model of independent sources used for calculation of distribution of minority charge carriers generated in two-layer semiconductor by electron beam. *Proc. SPIE*, 2004, v. 5398, pp. 159–165.

[7] Burylova I.V., Petrov V.I., Snopova M.G., Stepovich M.A. Mathematical simulation of distribution of minority charge carriers, generated in multilayer semiconducting structure by a wide electron beam. *Semiconductors*, 2007, vol. 41, Issue 4, pp. 444-447.

[8]. Snopova M.G., Burylova I.V., Petrov V.I., Stepovich M.A. Analysis of the model distributions of minority carriers generated in the three-layer semiconductor structure by wide electron beam. *Poverhnost. Rentgenovskiy, sinhotronniye I neytronniye issledovaniya*, 2007, No. 7, pp. 1–6 (in Russian).

[9] Mikheev N.N., Petrov V.I., Stepovich M.A. Quantitative Analysis of Semiconductor Optoelectronic Materials by Raster Electron Microscopy. *Bulletin of the Academy of Sciences of the USSR. Physical Series*. 1991, vol. 55, No. 8, pp.1-9.

[10] J.W.P. Hsu. Near-field scanning optical microscopy studies of electronic and photonic materials and devices. *Materials Science and Engineering*, 2001, vol. 33, pp. 1-50.

[11] Kalmanovich V.V., Seregina E.V., Stepovich M.A. Finding the minority carriers distribution generated by the electron beam in a semiconductor material with a defect on the surface. *Scientific papers Tsiolkovsky Kaluga State University. Series: Natural Sciences*. 2014. Kaluga, 2014, c. 39–42 (in Russian)..

[12] Kalmanovich V.V., Seregina E.V., Stepovich M.A. On the influence of point defects on the surface of a semiconductor on the distribution of minority charge carriers generated by the electron beam in semiconductor materials. *Vestnik Kaluzhskogo universiteta*, 2014, No. 1, pp. 23–26 (in Russian)..

[13] Q. Xu, M.H. Gray, J.W.P. Hsu. Resolution and contrast in near-field photocurrent imaging of defects on semiconductors. *Journal of Applied Physics*, 82 (2), 1997, pp. 748–755.

[14] C. Donolato, H. Klann. Computer simulation of SEM electron beam induced current images of dislocations and stacking faults. *Journal of Applied Physics*, 51 (3), 1980, pp. 1624–1623.

**Kalmanovich V.V.**, Senior Lecturer of Tsiolkovsky Kaluga State University. E-mail: veronique@ukr.net.

**Stepovich M.A.**, Dr. Sci (Physics and Mathematics), Assoc. Professor of Tsiolkovsky Kaluga State University. E-mail: m.stepovich@rambler.ru.

**Seregina E.V.**, the Assistant Professor of the Kaluga Branch of Bauman Moscow State Technical University. E-mail: evfs@yandex.ru.

**Gorbunov Aleksander Konstantinovich**, Dr. Sci. (Phys.&Math.), the Head of the Physics Department of the Kaluga Branch of the Bauman Moscow State Technical University. E-mail: kf\_MGTU\_FIZ@mail.ru.

УДК 535.33

И.Ж. Безбах , Б.И. Мясников, И.Н. Радченко

## **РАСЧЕТ ДИФРАКЦИИ ОТРАЖЁННЫХ ЭЛЕКТРОНОВ НА МОНОКРИСТАЛЛЕ**

КФ МГТУ им. Н.Э. Баумана, Калуга, 248000, Россия

*В статье приведены результаты применения математического моделирования для одного из основных методов исследования физико-химических свойств поверхности твердого тела – дифракции электронов. В работе дается краткое изложение основ теории процесса дифракции микрочастиц с формулами, приводятся описание алгоритма расчета (в программе MathCad) и графическое представление полученных результатов. Представленная работа позволяет прогнозировать процессы дифракции отраженных электронов на поверхности монокристалла при задаваемых параметрах исследуемого процесса. Полученные результаты моделирования дифракционных процессов могут быть использованы в качестве наглядного иллюстративного материала при изучении электронографии.*

**Ключевые слова:** «кристаллография», «дифракция», «монокристалл», «спектр рассеяния», «угол скольжения».

В конце прошлого века произошел резкий скачок методического уровня проведения исследований локального состава, структуры и физико-химических свойств поверхности твердого тела. С появлением и развитием техники сверхвысокого вакуума появилась возможность для реального развития таких «старых» методов исследования поверхности, как дифракция медленных электронов и полевая эмиссия. Стало совершенно ясным, что именно успехи в изучении автоэлектронной эмиссии, дифракции электронов, в совершенствовании техники сверхвысокого вакуума и детектирования малых сигналов, наряду с открытием эффекта Оже и рентгено-электронной эмиссии, привели к созданию принципиально новых методов исследования поверхности твердых тел. Их разнообразие и быстрое развитие требуют привлечения новых методик обработки и интерпретации получаемых экспериментальных данных.

Применение современных алгоритмов программирования с использованием пакетов программ математического моделирования (MathCad, Matlab и др.) позволяет эффективно обрабатывать и представлять результаты исследований, наглядно демонстрировать динамику процессов на поверхности твердого тела.

Одним из основополагающих явлений, описываемых квантовой механикой, является универсальный корпускулярно-волновой дуализм материи. Однако несоответствие традиционным представлениям классической физики значительно осложняет понимание и усвоение материала этого раздела курса квантовой механики. Использование моделирования физических процессов, объясняемых, в частности, наличием волновых свойств микрочастиц, позволяет повысить наглядность изучаемых явлений, а также значительно упростить расчеты исследуемых параметров и характеристик.

Согласно гипотезе де Бройля материальные частицы обладают волновыми свойствами, причем соотношения, связывающие волновые и корпускулярные характеристики частиц, остаются такими же, как и в случае электромагнитного излучения. Так движение свободной частицы с энергией  $E_k$  и импульсом  $\vec{p}$  описывается как волновой процесс с длиной волны

$$\lambda_B = \frac{h}{p} = \frac{h}{\sqrt{2m_0 E_k}}.$$

В рассматриваемом случае кинетическая энергия электрона  $E_k \ll m_0 c^2$ , и определяется ускоряющим напряжением  $E_k = eU_{\text{уск}}$ .

Первыми экспериментальными исследованиями, подтвердившими волновую природу частиц, признаны классические опыты Дэвиссона и Джермера по дифракции отражённых электронов на монокристаллах. При этом электроны с дебройлевской длиной волны  $\lambda_B$  дифрагируют на различных атомных плоскостях, выбор которых осуществляется взаимной ориентацией падающего пучка электронов и рассеивающего кристалла. Электроны направлялись на кристалл под углом скольжения  $\theta$  по отношению к рассеивающему семейству плоскостей с межплоскостным расстоянием  $d$ .

Интенсивный дифракционный максимум  $n$ -го порядка отраженной волны возникает при значении угла  $\theta$ , удовлетворяющем условию Брэгга – Вульфа ( $2d \cdot \sin \theta = n\lambda_B$ ). Физический смысл условия Брэгга – Вульфа достаточно прозрачен: дифракционный максимум появляется в тех случаях, когда разность хода волн, отраженных от соседних атомных плоскостей, равна целому числу длин волн де Бройля. Именно в этом случае отраженные волны усиливают друг друга, т. е. имеет место конструктивная интерференция.

С учетом преломления электронных пучков на атомарных плоскостях условие Брэгга–Вульфа принимает вид:

$$2d\sqrt{n_e^2 - \cos^2 \theta} = n\lambda_B.$$

$$n_e = \sqrt{1 + \frac{A_g}{E_k}} = \sqrt{1 + \frac{A_g}{eU_{\text{уск}}}}.$$

Здесь  $n_e$  – показатель преломления электронных волн в кристалле,  $A_g$  – работа выхода электрона. Как правило, величина работы выхода состав-

ляет единицы электрон-вольт, поэтому преломление имеет место при сравнительно небольших ускоряющих напряжениях.

Из приведенного условия дифракционных максимумов несложно выявить зависимость угла отражения электронного пучка от величины ускоряющего напряжения. Для этой цели с помощью программы MathCad был составлен расчётный файл, в котором отображаются результаты проведенного анализа. Для обеспечения наглядности процесса и удобочитаемости, на основе расчетного была создана электронная книга. Материал в файле структурирован: даны значения физических констант, используемых в работе; кратко описана теория процесса дифракции и приведены основные формулы для этого явления. Графическое представление результатов расчета угла скольжения  $\theta$  электронного пучка для нескольких дифракционных максимумов отображено на рис.1.

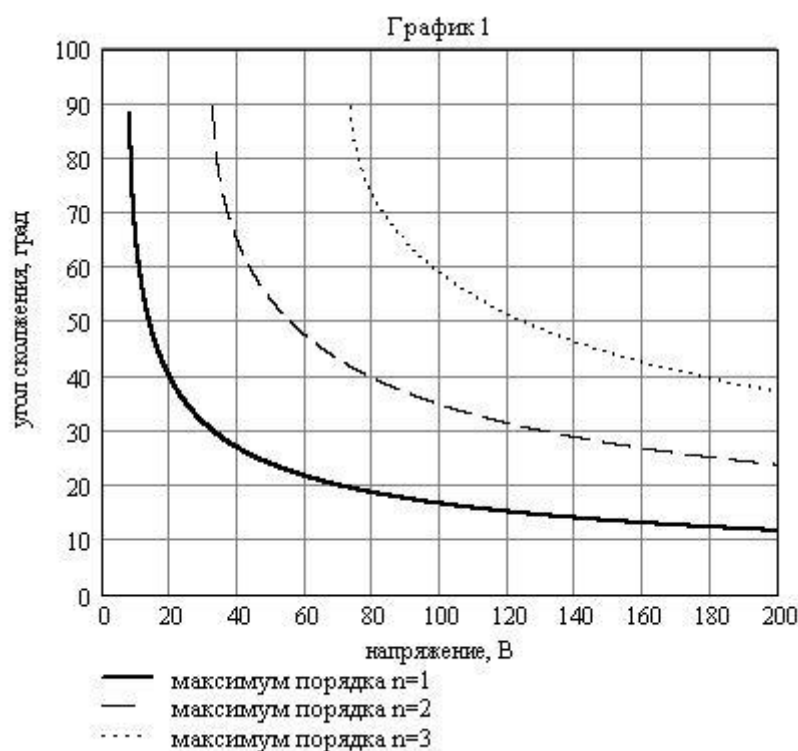


Рис.1. Пример графика зависимости  $\theta(U_{уск})$ .

По полученным зависимостям  $\theta(U_{уск})$  можно оценить напряжение, необходимое для возникновения того или иного дифракционного максимума и соответствующий угол наблюдения. В зависимости от постоянной решётки рассеивающего монокристалла изменяются условия дифракции, и характер этого изменения можно увидеть, варьируя значение  $d$ . В разработанной программе предусмотрен пункт расчёта конкретных значений длины волны де Бройля электронов, углов скольжения и отражения электронного пучка для задаваемого ускоряющего напряжения. Наибольший практиче-

ский интерес для исследований имеет определение значений порогового ускоряющего напряжения, т.е. решение уравнения  $\theta(U_{уск}) = 90^\circ$ .

Расширенные возможности программы MathCad позволяют наглядно представить динамику процесса путем создания анимации в формате avi. Фрагмент видеоролика длительностью 20 секунд представлен на рис. 2. Видеоролик даёт наглядное представление об изменении хода лучей (падающего и отражённого потоков электронов) в зависимости от ускоряющего напряжения. В правом поле экрана установлен счётчик напряжения и текущие углы отражения для соответствующего дифракционного максимума.

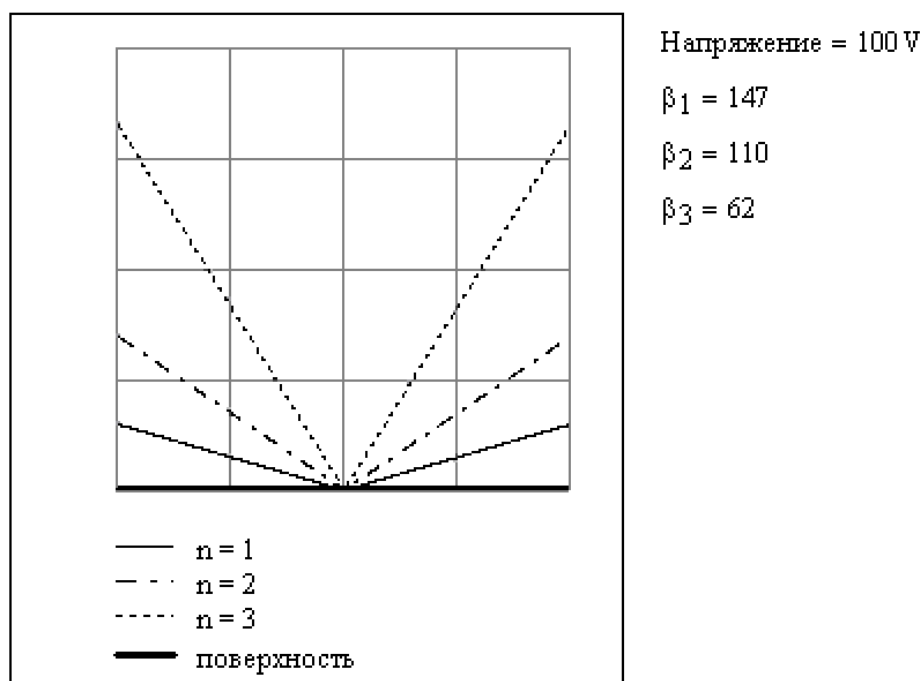


Рис. 2. Траектории падающего и отраженного потоков электронов в зависимости от ускоряющего напряжения (фрагмент видеоролика).

Представленная работа позволяет прогнозировать процессы отражательной дифракции на поверхности того или иного монокристалла при задаваемых параметрах исследуемого процесса. Кроме того, моделируемые дифракционные процессы могут использоваться как наглядный иллюстративный материал при изучении электронографии – метода исследования кристаллических структур с помощью явления отражательной дифракции электронов.

#### ЛИТЕРАТУРА

- [1] *S.G. Lipson, D.S. Tannhauser. Optcal Physics, Cambridge, UK, 2009.*
- [2] *Пул Ч. Справочное руководство по физике: Пер. с англ. – М.: Мир, 2008.*
- [3] *Вудраф Д., Делчар Т. Современные методы исследования поверхности: Пер. с англ. – М.: Мир, 2011.*



**Безбах Илья Жанович** – канд. физ.-мат. наук, доцент КФ МГТУ им. Н.Э. Баумана. E-mail: biz001@mail.ru.

**Мясников Борис Иванович** – канд. техн. наук, доцент КФ МГТУ им. Н.Э. Баумана. E-mail: myasnikov-bi@mail.ru.

**Радченко Ирина Николаевна** – канд. физ.-мат. наук, доцент КФ МГТУ им. Н.Э. Баумана. E-mail: rin-kf@yandex.ru.

UDC 535.33

I.Z. Bezbakh, V.I. Myasnikov, I.N. Radchenko

## **CALCULATION OF ELECTRON DIFFRACTION FROM SINGLE CRYSTAL**

*The paper presents the results of mathematical modeling for one of the basic investigation methods of the solid state's physical and chemical properties - electron diffraction. This paper describes a summary of microparticles diffraction basic theory, description of calculating algorithm (Math-Cad) and graphical representation of results. This work makes it possible to predict the course of diffraction of reflected electrons on the surface of a single crystal for given parameters of the investigated process. The obtained diffractive processes simulation results can be used as a visual illustrations in the study of electronography.*

**Key-words:** “crystallography”, “diffraction”, “single crystal”, “scattering spectrum”, “grazing angle”.

### **LITERATURE**

- [1] S.G. Lipson, D.S. Tannhauser. Optical Physics, Cambridge, UK, 2009.
- [2] Poole C. The Physical Handbook. Fundamentals and Key Equations. – М.: Mir, 2008.
- [3] Woodruff D.P., Delchar T.A. Modern techniques of surface science. – М.: Mir, 2011.

**Radchenko I.N.**, Ph. D., Assoc. Professor of the Kaluga Branch of the Bauman Moscow State Technical University. E-mail: rin-kf@yandex.ru.

**Bezbakh I.Zh.**, Ph. D., Assoc. Professor of the Kaluga Branch of the Bauman Moscow State Technical University. E-mail: biz001@mail.ru.

**Myasnikov V.I.**, Ph. D., Assoc. Professor of the Kaluga Branch of the Bauman Moscow State Technical University. E-mail: myasnikov-bi@mail.ru.

## СТАЦИОНАРНАЯ ГИДРОДИНАМИЧЕСКАЯ ДИСПЕРСИЯ В МНОГОСЛОЙНЫХ ПЛАСТАХ С РАСТВОРИМОЙ ПОДОШВОЙ

КФ МГТУ им. Н.Э. Баумана, Калуга, 248000, Россия

*В статье предложено решение краевой задачи для уравнения гидродинамической дисперсии. Предполагается, что фильтрационное течение создается одиночной совершенной нагнетательной или эксплуатационной скважиной в кусочно-однородном горизонтальном пласте. Пласт снизу ограничен растворимой протяженной подошвой и сверху – непроницаемой крышей. Предполагается также, что процесс растворения установившийся, примесь нейтральная, то есть не изменяет гидродинамических свойств среды, скорости течения таковы, что в направлении скорости течения конвективный перенос преобладает над молекулярной диффузией. В направлении, перпендикулярном скорости течения, коэффициент гидродинамической дисперсии принимается линейно зависящим от скорости. Для описания поля концентрации в рассматриваемом многослойном пласте предложено дифференциальное уравнение, получено его решение при соответствующих условиях на границе области и условиях сопряжения, то есть равенства концентраций и потоков на границах слоев. Методом Фурье получено аналитическое решение поставленной задачи. Для частного случая однородной области из этого решения следуют результаты, совпадающие с ранее полученными данными.*

**Ключевые слова:** гидродинамическая дисперсия, конвективная диффузия, массоперенос.

Гидродинамическая дисперсия – это явление переноса растворимых примесей в фильтрационных потоках. Существуют несколько подходов к изучению этого явления. В общем случае для неоднородных фильтрационных течений предложено уравнение [1], [2]

$$\frac{\partial C}{\partial t} = \frac{\partial}{\partial x_i} \left( D_{ij} \frac{\partial C}{\partial x_j} \right) - U \frac{\partial C}{\partial x_i},$$

Здесь  $C$  – относительная концентрация примеси,  $U$  – абсолютная величина средней скорости течения,  $D$  – коэффициент диффузии, который различен по направлениям и поэтому является тензором второго ранга,  $t$  – время,  $x_i$  – пространственные координаты с осями, приведенными к направлениям главных осей тензора  $D$ .

В работе [3] уравнение гидродинамической дисперсии было записано в криволинейных координатах в виде

$$\frac{\partial C}{\partial t} = \frac{1}{h_1 h_2 h_3} \left\{ \frac{\partial}{\partial y^1} \left[ \frac{h_2 h_3}{h_1} (a_I f(Pe, \delta) v + D_M) \frac{\partial C}{\partial y^1} \right] + \right. \\ \left. + \frac{\partial}{\partial y^2} \left[ \frac{h_3 h_1}{h_2} (a_{II} f(Pe, \delta) v + D_M) \frac{\partial C}{\partial y^2} \right] + \right. \\ \left. + \frac{\partial}{\partial y^3} \left[ \frac{h_1 h_2}{h_3} (a_{II} f(Pe, \delta) v + D_M) \frac{\partial C}{\partial y^3} \right] \right\} - \\ - \frac{v}{h_1} \cos(\vec{v}, \vec{1} y^1) \frac{\partial C}{\partial y^1}$$

$h_i$  – коэффициенты Ламэ,  $y^i$  – криволинейные координаты,  $f(Pe, \delta)$  – некоторая функция критерия Пекле, зависящая от адсорбции индикатора твердым скелетом пористой фазы.

Пренебрегая далее явлением адсорбции, для радиальных фильтрационных потоков получим

$$\frac{\partial C}{\partial t} = v \left\{ \frac{\partial}{\partial r} \left[ \left( a_I + \frac{D_M}{v} \right) \frac{\partial C}{\partial r} \right] + \frac{1}{r^2} \left( a_{II} + \frac{D_M}{v} \right) \frac{\partial^2 C}{\partial \theta^2} + \right. \\ \left. + \left( a_{II} + \frac{D_M}{v} \right) \frac{\partial^2 C}{\partial z^2} + \frac{\partial C}{\partial r} \right\} \quad (1)$$

Здесь  $v$  – абсолютная величина средней скорости, причем если течение создается совершенной скважиной, то  $v = Q / 2\pi n B r$ , где  $Q$  – расход жидкости (дебит скважины),  $B$  – мощность пласта,  $n$  – пористость среды,  $r, \theta$  и  $z$  – цилиндрические координаты,  $D_M$  – коэффициент молекулярной диффузии,  $a_I$  и  $a_{II}$  – продольная и поперечная дисперсионности, верхний знак при первой производной соответствует расходящемуся фильтрационному течению.

Уравнение получено при следующих предположениях: пласт коллектор плоский, горизонтальный, постоянный по мощности, однородный, изотропный по проницаемости; фильтрационный поток подчиняется закону Дарси; зависимость коэффициента дисперсии от скорости принимается линейной; примесь считается нейтральной, то есть не изменяющей свойств среды; перенос массы индикатора на поверхность твердой фазы не учитывается.

Учитывая сказанное, поставим задачу. Пусть в некотором  $n$ -слойном протяженном горизонтальном пласте с растворимым основанием создается фильтрационное поле  $v(r)$  скважиной дебитом  $Q$ . Пусть также скважина эксплуатируется достаточно долго так, что процесс растворения вещества можно считать установившимся. Требуется определить распределение концентрации по толщине пласта. Если учесть, что в направлении скорости потока доминирует конвективный перенос вещества над молекулярной диффузией, то уравнение (1) примет вид

$$\left( a_{II} + \frac{D_M}{v} \right) \frac{\partial^2 C}{\partial z^2} + \frac{\partial C}{\partial r} = 0 \quad (2)$$

Таким образом, для решения поставленной задачи необходимо найти общее решение уравнений

$$\left( a_{Mi} + \frac{D_{Mi}}{v_i} \right) \frac{\partial^2 C}{\partial z_i^2} + \frac{\partial C}{\partial r_i} = 0 \quad (3)$$

удовлетворяющих условиям на границах области фильтрации

$$C_1(r, 0) = C_0,$$

$$\frac{\partial C_n(r, h_n)}{\partial z_n} = 0, \quad ,$$

$$C_i(r_0, z_i) = f_i(z_i)$$

и условиям сопряжения на границах слоев

$$C_{i-1}(r, h_{i-1}) = C_i(r, 0),$$

$$D_{i-1} \frac{\partial C_{i-1}(r, h_{i-1})}{\partial y_{i-1}} = D_i \frac{\partial C_i(x, 0)}{\partial y_i} , ,$$

$$C_i(r_0, z_i) = f_i(z_i).$$

Произведя замену  $x = \frac{r - r_0}{a_2} + \frac{b(r^2 - r_0^2)}{2a_2^2}$ , где  $b = \frac{2\pi n B D_M}{Q}$ ,  $y = \frac{z}{a_2}$ ,

$k_i = \frac{a_{2i}}{a_{1i}}$ ,  $H_i = \frac{h_i}{a_2}$ , получим следующую краевую задачу в новых безразмерных переменных

$$\frac{\partial C_i}{\partial x_i} = \frac{\partial^2 C}{\partial y_i^2}, \quad (i = 1, 2, \dots, n) \quad (4)$$

$$C_i(0, y_i) = f_i(y_i), \quad (5)$$

$$C_i(0, y_i) = f_i(y_i), \quad (6)$$

$$\frac{\partial C_n(x, H_n)}{\partial y_n} = 0, \quad (7)$$

$$C_{i-1}(x, H_{i-1}) = C_i(x, 0), \quad (8)$$

$$D_{i-1} \frac{\partial C(x, H_{i-1})}{\partial y_{i-1}} = D_i \frac{\partial^2 C_i(x, 0)}{\partial y_i^2}, \quad (9)$$

Общее решение ищем в виде

$$C_i(x, y_i) = \varphi_i(y_i) + \psi_i(x, y_i), \quad (10)$$

Функции  $\varphi_i(y_i)$  есть решения соответствующих однородных уравнений при соответствующих условиях и в данном случае  $\varphi_i(y_i) = C_0$ . Функции  $\psi_i(x, y_i)$  есть решения уравнения вида (4) при аналогичных условиях, но условие (5) принимает вид

$$\psi_i(0, y_i) = f_i(y_i) - C_0, \quad (11)$$

Применяя метод Фурье, найдем

$$\psi_i(x, y_i) = \sum_{k=0}^{\infty} A_{ik} e^{-\mu_k^2 x} \sin(\mu_k y_i + \varphi_{ik}),$$

Собственные числа могут быть найдены из уравнения

$$D_i \operatorname{tg}(\mu_k H_{i-1} + \varphi_{i-1,k}) = D_{i-1} \operatorname{tg}(\varphi_{i,k}),$$

Из граничных условий

$$\varphi_{1k} = k\pi, \quad \varphi_{nk} = \frac{4k+1}{2} \pi - \mu_k H_n,$$

Из условий сопряжения также следует

$$A_{i-1,k} = B_{i-1,k}, \quad (i = 3, 4, \dots, n), \quad B_{1k} = 1,$$

$$B_{ik} = \frac{\prod_{m=1}^{i-1} \sin(\mu_k h_m + \varphi_{mk})}{\prod_{m=1}^i \sin(\varphi_{mk})}, \quad (i = 2, 3, \dots, n),$$

Произвольные постоянные  $A_{1,k}$  определяются из условий ортогональ-

ности собственных функций  $Y_{ik}$  на отрезках  $\sum_{i=1}^n H_i$

$$A_{ik} = \frac{\sum_{i=1}^n v_i B_{ik} \int_0^{H_i} \psi_i(0, y_i) \sin(\mu_k y_i + \varphi_{ik}) dy_i}{\sum_{i=1}^n v_i B_{ik}^2 \int_0^{H_i} \sin^2(\mu_k y_i + \varphi_{ik}) dy_i},$$

## ЛИТЕРАТУРА

[1] Scheidegger A.E. *Statistical Hydrodynamics in porous media*. J. Appl. Phys., 1954, v.25, №8, p.994-1001.

[2] Николаевский В.Н. *Конвективная диффузия в пористых средах*. Изв. АН СССР, ОТН, ПММ, 1959, т. XXIII, в.6, с.1042-1050.

[3] Бэр Я., Заславский Д., Ирмей С. *Физико-математические основы фильтрации воды*. Москва, Мир, 1971, 451 с.

[4] Гладышев Ю.А., Куликов А.Н. *Некоторые задачи гидродинамической дисперсии*. В кн.: Исследования по специальным вопросам гидродинамики. Москва, МГУ, 1982, с.96-99.

**Куликов Анатолий Николаевич** – канд. пед. наук, доцент КГУ им. К.Э. Циолковского. E-mail: ivk-60@mail.ru.

**Горбунов Александр Константинович** – д-р физ.-мат. наук, ведущий кафедрой "Физика" КФ МГТУ им. Н.Э. Баумана. E-mail: kf\_MGTU\_FIZ@mail.ru.

**Овчаренко Игорь Николаевич** – ассистент кафедры "Физика" КФ МГТУ им. Н.Э. Баумана. E-mail: ino1963@yandex.ru.

A.N. Kulikov, A.K. Gorbunov, I.N. Ovcharenko

## STATIONARY HYDRODYNAMIC DISPERSION IN MULTILAYERED RESERVOIRS WITH SOLUBLE SOLE

*In the article it is proposed a solution of the boundary problem for the equation of hydrodynamic dispersion. It is assumed that the filtration flow creates a single perfect injection or production well in a piecewise homogeneous horizontal layer. Layer limited bottom by soluble long sole and limited top by impervious roof. It is also assumed that the dissolution process was long-established, the impurity is neutral, i.e. it is not changed the hydrodynamic properties of the medium, flow rates are such that convective transfer dominates over molecular diffusion in the direction of the flow velocity. In the direction perpendicular to the flow rate, the coefficient of hydrodynamic dispersion is assumed linearly dependent on speed. Differential equation is proposed to describe the concentration field in the considered multilayer reservoir, his decision is obtained under appropriate conditions on the boundary of the region and under the conditions of conjugation, that is, equality of concentrations and flows at the boundaries of the layers. By the method of Fourier analytic solution of the task is obtained. For the special case of homogeneous region from this solution follow the results that coincide with previously obtained data.*

**Key words:** hydrodynamic dispersion, convective diffusion, mass transfer.

### LITERATURA

- [1] Scheidegger A.E. *Statistical Hydrodynamics in porous media*. J. Appl. Phys., 1954, v.25, №8, p.994-1001.
- [2] Nikolaevskij V.N. *Konvektivnaya diffuziya v poristyx sredakh*. Izv. AN SSSR, OTN, PMM, 1959, t.XXIII, v.6, s.1042-1050.
- [3] Behr YA., Zaslavskij D., Irmej S. *Fiziko-matematicheskie osnovy fil'tratsii vody*. Moskva, Mir, 1971, 451 s.
- [4] Gladyshev YU.A., Kulikov A.N. *Nekotorye zadachi gidrodinamicheskoy dispersii*. V kn.: *Issledovaniya po spetsial'nym voprosam gidrodinamiki*. Moskva, MGU, 1982, s.96-99.

**Kulikov Anatoly**, Ph. D., Assoc. Professor of Tsiolkovsky Kaluga State University. E-mail: ivk-60@mail.ru.

**Gorbunov Aleksander Konstantinovich**, Dr. Sci. (Phys.&Math.), the Head of the Physics Department of the Kaluga Branch of the Bauman Moscow State Technical University. E-mail: kf\_MGTU\_FIZ@mail.ru.

**Ovcharenko Igor**, the Assistant Lecturer of the Physics Department of Kaluga Branch of Bauman Moscow State Technical University. E-mail: ino1963@yandex.ru.

## **УСТАНОВКА ДЛЯ ВЫРАЩИВАНИЯ КРИСТАЛЛОВ БЕЛКОВ В ЗЕМНЫХ И КОСМИЧЕСКИХ УСЛОВИЯХ С АКТИВНЫМ УПРАВЛЕНИЕМ ПРОЦЕССОМ КРИСТАЛЛИЗАЦИИ**

КФ МГТУ им. Н.Э. Баумана, Калуга, 248000, Россия

*Кристаллизация биоматериалов в настоящее время необходима в биологии и медицине для определения пространственных структур органических молекул кристаллографическими методами, что в дальнейшем позволяет проводить как синтез новых веществ с требуемыми свойствами, так и решать некоторые фундаментальные вопросы функционирования живых систем в целом. Одним из важнейших факторов, определяющих успех этих исследований, являются процессы роста биокристаллов, осуществляемые не только в наземных, но и в космических экспериментах.*

*Как было показано ранее, способ температурного управления процессами кристаллизации белка является значительно более технологичным и более эффективным для выращивания высокосоввершенных кристаллов по сравнению с традиционными методами, при этом исключается конвекция в растворе, а также практически устраняется влияние вибраций на процессы кристаллизации, и таким образом в земных условиях обеспечивается максимально возможное приближение к диффузионным условиям теплопереноса в растворе белка, а в космических условиях – диффузионный режим, т.е. условия самоорганизации макромолекул белка при встраивании их в кристаллическую решётку. При этом процесс кристаллизации макромолекул становится управляемым и воспроизводимым.*

*На основе проведенного анализа существующих методов кристаллизации и известной и используемой в мире аппаратуры для кристаллизации белков в земных и космических условиях сделан вывод о необходимости создания автоматизированной установки с управлением температурой процессами зарождения и кристаллизации белков, как наиболее эффективной для получения высокосоввершенных белковых кристаллов. На основе разработанной простой по конструкции маломассогабаритной установки-кристаллизатора проведена серия экспериментов по успешному получению качественных кристаллов белка лизоцима.*

**Ключевые слова:** белок, кристалл, рост, управление, математическое моделирование.

**Теоретическая часть.** Кристаллы белков используются для определения пространственной структуры этих сложных молекул методом рентгеноструктурного анализа. Данные о пространственной структуре необходимы для разработки эффективных лекарственных средств нового поколения и изучения механизмов развития заболеваний. Несмотря на значительные успехи, достигнутые в последнее время в методах получения пригодных для рентгеноструктурного анализа белковых кристаллов, именно стадия кристаллизации до сих пор остается наименее предсказуемой и часто определяет успешность всех сил и средств, затрачиваемых на исследование пространственной структуры белков.

Выбор условий кристаллизации белков в настоящее время проводится в основном эмпирически, путем осуществления многочисленных проб в различных условиях (т.н. скрининг) [1–2]. При этом работа в значительной степени осложняется тем, что начало кристаллизации (зародышеобразование) требует значительно большего пересыщения раствора белка (до 5–10 раз), чем последующий рост образовавшихся зародышей. По этой причине большое значение имеет реализация таких методов кристаллизации, которые позволяли бы управлять пересыщением белкового раствора как в процессе зарождения, так и последующего разраствивания кристаллов [3]. В силу сложившихся обстоятельств, бóльшая часть экспериментов по кристаллизации белков выполняется при отсутствии необходимой информации о ходе процесса кристаллизации. В среднем в 20–40% опытов кристаллы вообще не могут быть получены или оказываются значительно худшего качества по сравнению с аналогами [4–5].

Решение масштабных задач по кристаллизации тысяч белков с высоким разрешением возможно лишь при использовании автоматизированного оборудования с активным управлением процессом кристаллизации, оснащенных системами диагностики и видеонаблюдения. При этом в силу ограниченности ресурсов и высокой стоимости экспериментов в космосе, подавляющая часть экспериментов проводится на земле. В условиях микрогравитации эксперименты должны проводиться для исследования механизмов и кинетики процессов кристаллизации и параллельно для получения кристаллов белков с таким совершенством структуры, которое необходимо для решения прикладных задач по развитию новых методов диагностики и разработке лекарственных средств. Такие эксперименты ведутся уже более 25 лет. Обнадёживающие результаты первых экспериментов и государственная поддержка планируемых исследований в рамках принятых в начале 90-х годов долгосрочных программ космических исследований в США, Европе и Японии стимулировали разработку современного высокопроизводительного оборудования, оснащённого развитыми системами диагностики, контроля и управления. К разработке оборудования подключились крупные аэрокосмические фирмы и научные учреждения: ДАСА/Дорнье в Европе, Калифорнийский университет и Центр кристаллографических исследований в США, Национальная аэрокосмическая лаборатория и фирма Фуджицу в Японии. Космическими агентствами США, Европы, России и Японии раз-



работано не менее 20 базовых вариантов ростовой аппаратуры, многие из которых имеют несколько модификаций по результатам проведенных экспериментов. Установки различаются используемыми методами кристаллизации, оснащённостью системами диагностики, контроля и управления.

Температура является существенным физическим параметром при кристаллизации белков, поскольку она непосредственным образом влияет на их растворимость. Из анализа литературных данных можно сделать вывод о том, что растворимость типично используемого как модельный белок лизоцима при  $pH = 4,5$  и  $2-3\%$  NaCl меняется на порядок по величине при изменении температуры в пределах  $10-30^{\circ}C$  [4]. Аналогичные данные приводятся для канавалина, инсулина и альбумина [5]. Как правило, растворимость большинства белков повышается с ростом температуры, однако такие белки, как лошадиный альбумин, более растворимы с понижением температуры (т.н. ретроградная растворимость). Однако для белков, не кристаллизовавшихся ранее, данные по растворимости как функции температуры принципиально неизвестны.

Как было показано ранее [3, 6], способ температурного управления процессом кристаллизации белков является значительно более технологичным и более эффективным для выращивания высокосовершенных кристаллов по сравнению с традиционными методами, при этом исключается конвекция в растворе, а также практически устраняется влияние вибраций на процессы кристаллизации, и таким образом в земных условиях обеспечивается максимально возможное приближение к диффузионным условиям теплопереноса в растворе белка, а в космических условиях – диффузионный режим, т.е. условия самоорганизации макромолекул белка при встраивании их в кристаллическую решётку. При этом процесс кристаллизации макромолекул становится управляемым и воспроизводимым.

**Практическая часть.** Предлагаемый подход к решению проблемы кристаллизации белков с высоким совершенством структуры получаемых кристаллов заключается в реализации метода управляемой кристаллизации, обеспечивающего управление процессом роста кристаллов как на этапе их зародышеобразования, так и в процессе кристаллизации. В земных условиях этот метод обеспечивает приближение к диффузионному массопереносу, а в условиях невесомости – чисто диффузионный механизм массопереноса при исключении конвекций любого вида с прецизионной  $\pm(0,1-0,2)^{\circ}C$  локальной стабилизацией температуры и управлением ею в ходе процесса кристаллизации, что обеспечивает условия самоорганизации молекул белка при встраивании их в кристаллическую решетку и позволяет реализовать высокое совершенство выращиваемых кристаллов. При этом в невесомости появляется возможность оптимизировать массоперенос, обусловленный возникновением концентрационной неоднородности вокруг растущего кристалла. Отсутствие конвекции в процессе кристаллизации позволяет также минимизировать влияние вибраций на процессы кристаллизации.

Управление процессом кристаллизации осуществляется путем:

– задания и прецизионного поддержания требуемой температуры всего раствора белка в капилляре;

– поддержания с точностью  $\pm(0,1-0,2)^\circ\text{C}$  в локальной точке капилляра с раствором соответствующей температуры для обеспечения необходимого пересыщения для зарождения единичных (1 – 2) центров кристаллизации;

– управление температурой в локальной точке капилляра и, соответственно, пересыщения в процессе разращивания кристалла из образовавшегося зародыша.

Основная идея реализованного метода иллюстрируется рис.1. Капилляр с раствором белка помещается в термостат, в объеме которого посредством термоэлектрических модулей Пельтье устанавливается требуемая для роста кристаллов температура  $T_2$ , которую можно задать в представляющем интерес диапазоне  $0-40^\circ\text{C}$ . Одновременно локально в одной точке капилляра посредством отдельного элемента Пельтье устанавливается другое значение температуры  $T_1$ , благоприятное для образования зародышей. При этом температура  $T_1$  может быть задана как ниже  $T_2$  для белков типа лизоцима с нормальной зависимостью растворимости от температуры, так и выше  $T_2$  при кристаллизации белков типа альбумина с ретроградной, т.е. понижающейся с повышением температуры растворимостью. В земных условиях предпочтительным является горизонтальное расположение капилляра: тем самым устраняется проблема седиментации и минимизируется развитие термогравитационной конвекции. После образования одного или нескольких зародышей во всем объеме капилляра устанавливается или одна и та же температура  $T_2$ , которая остается неизменной в течение всего последующего процесса роста или могут плавно меняться по определенной программе как  $T_1$ , так и  $T_2$  для компенсации истощения раствора по мере роста кристалла. Применение такой методики позволяет разделить процессы зародышеобразования и дальнейшего роста кристалла путем изменения степени пересыщения, которая для этих двух стадий может отличаться в 5–10 раз.

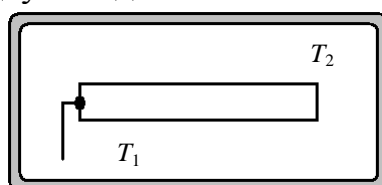


Рис. 1. Схематическое изображение кристаллизационной ячейки с капилляром.

Циклограмма эксперимента включает несколько фаз:

1) выход установки на рабочий режим при температуре  $T_1$  в точке и температуре  $T_2$  всего раствора;

2) выдержку при заданных температурах до появления первых зародышей;

3) регулируемое управление температурой в точке и всего объема раствора до роста кристалла размером  $\sim (0,5 - 1,0)$  мм.

На основе проведенных исследований и экспериментов была разработана простая по конструкции маломассогабаритная (массой до 5 кг и объемом 4–5 дм<sup>3</sup>) ростовая установка, обеспечивающая в течение одного цикла рост кристаллов белков в капиллярах при минимальном расходе растворов белков.

В результате оптических и рентгеновских исследований выращенных кристаллов лизоцима, проведенных в Институте кристаллографии РАН, установлено, что во всех капиллярах вырастают монокристаллы лизоцима, и во всех капиллярах получены кристаллы высокого качества с дифракционным разрешением не хуже  $1,54 \text{ \AA}$ , т.е. с предельным разрешением, которое достижимо на лучшем имеющемся в ИК РАН рентгеновском оборудовании. Полученные кристаллы лизоцима, находящиеся с раствором в капиллярах, имели различные размеры в разных капиллярах и разное количество: от одного крупного кристалла ( $\sim 1 \text{ мм}^3$ ) до  $3 \div 5$  кристаллов размерами  $0,2 \div 0,3 \text{ мм}^3$  в большинстве капилляров, а в одном капилляре их было несколько десятков малого размера в сотые доли  $\text{мм}^3$ .

Высокий уровень совершенства структуры больших и малых по размеру кристаллов – все они проявляют дифракционное разрешение не хуже  $1,54 \text{ \AA}$  – свидетельствует о нормальном температурно-управляемом без спонтанной кристаллизации процессе роста кристаллов.

Различные размеры и количество выращенных кристаллов в разных капиллярах свидетельствует лишь о различии точечных тепловых контактов поверхности капилляров с пьедесталами, специально охлаждаемыми для создания единичных на каждый капилляр центров ускоренного зародышеобразования и дальнейшего разрастания единичных кристаллов. В целях экономии при кристаллизации дорогостоящих белков и ускорения процессов зародышеобразования при выращивании кристаллов белков целесообразно дальнейшее конструктивное и технологическое совершенствование теплового точечного контакта и теплопереноса в нем для обеспечения точечного зародышеобразования и дальнейшего разрастания на нем более крупного и совершенного по структуре кристалла вместо возможного спонтанного зарождения многочисленных зародышей и далее кристаллов по всему объему капилляров.

На рис.2 приведена дифракционная картина кристалла лизоцима, выращенного в капилляре в земных условиях, при температурном управлении процессом кристаллизации и при хорошем тепловом контакте ножа с пониженной температурой с поверхностью капилляра. Как видно из дифракционной картины, дифракционное разрешение у кристалла не хуже  $1,54 \text{ \AA}$ , т.е. метод капиллярного выращивания кристаллов с температурным управлением процессом кристаллизации позволяет по степени совершенства получаемых кристаллов в земных условиях приблизиться к результатам, получаемым в космических условиях [7], и это есть важнейший результат применения этого метода температурного управления процессом кристаллизации.

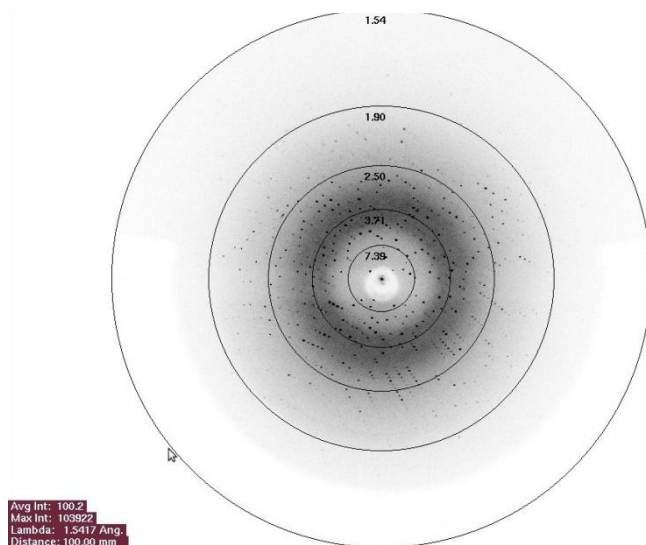


Рис. 2. Рентгенодифракционная картина для кристалла лизоцима, выращенного при наземном эксперименте.

**Выводы.** Предложенный и практически реализованный авторами способ температурного управления процессами кристаллизации белка является значительно более технологичным и более эффективным для выращивания высокосвершенных кристаллов по сравнению с традиционными методами. Процесс кристаллизации при этом становится управляемым и воспроизводимым.

#### Список литературы

1. Куранова И.П. Кристаллизация белков на земле и в невесомости. *Поверхность. Рентгеновские, синхротронные и нейтронные исследования*, 2004, № 7, с. 4–12.
2. Chayen N.E. Turning protein crystallisation from an art into a science. *Current Opinion in Structural Biology*, 2004, vol. 14, pp. 577–583.
3. Безбах И.Ж., Косушкин В.Г., Захаров Б.Г. Оптимизация роста кристаллов белков с применением метода теплового управления. *Методы исследования и проектирования сложных технических систем: Сборник статей (Труды МГТУ №592)*, М.: Изд-во МГТУ им. Н.Э. Баумана, 2006, с. 18–26.
4. Rosenberger F., Howard S.B., Sowers J.W., Nyce T.A. Temperature dependence of protein solubility – determination and application to crystallization in X-ray capillaries. *Journal of Crystal Growth*, 1993, vol. 129, pp. 1–12.
5. Luft J.R., Rak D.M., DeTitta G.T. Microbatch macromolecular crystallization on a thermal gradient. *Journal of Crystal Growth*, 1999, vol. 196, pp. 447–449.
6. Стрелов В.И., Захаров Б.Г., Безбах И.Ж. Кристаллизация белка лизоцима в прецизионно-управляемом градиенте температуры. *Кристаллография*, 2008, Т. 53, № 1, с. 145–148.
7. Безбах И.Ж., Стрелов В.И., Захаров Б.Г. Рентгенодифракционная характеристика кристаллов белков, выращенных методом управления температурой. *Современные методы анализа дифракционных данных и актуальные проблемы рентгеновской оптики: материалы VI-го международного научного семинара, 19–27 августа 2013 г.*, Великий Новгород: Изд-во НФ СПбГУСЭ, 2013, с. 206–208.

**Безбах Илья Жанович** – канд. физ.-мат. наук, доцент КФ МГТУ им. Н.Э. Баумана. E-mail: biz001@mail.ru.

**Радченко Ирина Николаевна** – канд. физ.-мат. наук, доцент КФ МГТУ им. Н.Э. Баумана. E-mail: rin-kf@yandex.ru.

**Захаров Борис Георгиевич** – д-р техн. наук, главный научный сотрудник, Филиал Института кристаллографии им. А.В. Шубникова РАН НИЦ "Космическое материаловедение". E-mail: zakharov@kaluga.rosmail.com.

**Стрелов Владимир Иванович** – д-р физ.-мат. наук, директор, Филиал Института кристаллографии им. А.В. Шубникова РАН НИЦ "Космическое материаловедение". E-mail: strelovvi@kaluga.ru.

BezbaKh I.Zh., Radchenko I.N., Zakharov B.G., Strelov V.I.

## **PROTEIN CRYSTAL GROWTH APPARATUS FOR TERRESTRIAL AND SPACE CONDITIONS WITH ACTIVE CRYSTALLIZATION PROCESS CONTROL**

Bauman Moscow State Technical University, Kaluga Branch, Kaluga, 248000, Russia

*Crystallization of biomaterials is necessary in biology and medicine for determination of spatial structures of organic molecules by crystallographic methods that further allows to carry out the synthesis of new substances with the demanded properties, and to resolve some fundamental issues of functioning of live systems in general. One of the major factors defining success of these researches are the processes of biocrystal growth which are carried out not only during terrestrial, but also in space experiments.*

*As it was shown earlier, the way of temperature control of protein crystallization processes is much more technological and more efficient for growth of high-perfect crystals in comparison with traditional methods, thus the convection in solution is excluded, and also influence of vibrations on crystallization processes is practically eliminated, and thus in terrestrial conditions the greatest possible approximation to diffusion conditions of a heat-and-mass transfer in protein solution, and in a space environment the diffusion mode is achieved, i.e. conditions of self-organization of protein macromolecules is provided during their embedding into a crystal lattice. Thus process of a crystallization of macromolecules becomes operated and reproduced.*

*On the basis of the carried-out analysis of the existing methods of crystallization and the known and used in the world apparatus for the protein crystallization under terrestrial and space environment the conclusion is drawn on necessity of creation of the automated equipment with control of temperature for processes of origin and crystallization of proteins, as the most efficient for growth of high-perfect protein crystals. On the basis of devel-*

*oped simple design and low-mass-dimensional crystallization apparatus a series of experiments with successful growth of qualitative crystals of lysozyme protein has been carried out.*

**Keywords:** *protein, crystal, growth, control, mathematical modeling.*

### **List of references**

1. Kuranova I.P. Kristallizacija belkov na zemle i v nevesomosti. *Poverhnost'. Rentgenovskie, sinhrotronnye i nejtronnye issledovanija*, 2004, № 7, s. 4–12.
2. Chayen N.E. Turning protein crystallisation from an art into a science. *Current Opinion in Structural Biology*, 2004, vol. 14, pp. 577–583.
3. Bezbakh I.Zh., Kosushkin V.G., Zakharov B.G. Optimizacija rosta kristallov belkov s primeneniem metoda teplovogo upravlenija. *Metody issledovanija i proektirovanija slozhnyh tehniceskikh sistem: Sbornik statej (Trudy MGTU №592)*, M.: Izd-vo MGTU im. N.E. Baumana, 2006, s. 18–26.
4. Rosenberger F., Howard S.B., Sowers J.W., Nyce T.A. Temperature dependence of protein solubility – determination and application to crystallization in X-ray capillaries. *Journal of Crystal Growth*, 1993, vol. 129, pp. 1–12.
5. Luft J.R., Rak D.M., DeTitta G.T. Microbatch macromolecular crystallization on a thermal gradient. *Journal of Crystal Growth*, 1999, vol. 196, pp. 447–449.
6. Strelov V.I., Zakharov B.G., Bezbakh I.Zh. Kristallizacija belka lizocima v precizionno-upravljaemom gradiente temperatury. *Kristallografija*, 2008, T. 53, № 1, s. 145–148.
7. Bezbakh I.Zh., Strelov V.I., Zakharov B.G. Rentgenodifrakcionnaja karakterizacija kristallov belkov, vyrashhennyh metodom upravlenija temperaturaj. *Sovremennye metody analiza difrakcionnyh dannyh i aktual'nye problemy rentgenovskoj optiki: materialy VI-go mezhdunarodnogo nauchnogo seminara, 19–27 avgusta 2013 g.*, Velikij Novgorod: Izd-vo NF SPbGUSJe, 2013, s. 206–208.

**Bezbakh Ilya Zhanovich**, Ph. D., Assoc. Professor of the Kaluga Branch of the Bauman Moscow State Technical University. E-mail: biz001@mail.ru.

**Radchenko Irina Nikolaevna**, Ph. D., Assoc. Professor of the Kaluga Branch of the Bauman Moscow State Technical University. E-mail: rin-kf@yandex.ru.

**Zakharov Boris Georgiyevich**, Dr. Sci. (Eng.); Main scientific officer, "Space Materials" Science and Research Center of the Shubnikov Institute of Crystallography, Russian Academy of Sciences. E-mail: zakharov@kaluga.rosmail.com.

**Strelov Vladimir Ivanovich**, Dr. Sci. (Phys.&Math.); Director, "Space Materials" Science and Research Center of the Shubnikov Institute of Crystallography, Russian Academy of Sciences. E-mail: strelovvi@kaluga.ru.

## ВЕРХНИЕ ГРАНИЦЫ ВЕРОЯТНОСТИ ОШИБКИ ПРИ ПЕРЕДАЧЕ С ОБРАТНОЙ СВЯЗЬЮ ДЛЯ ДИСКРЕТНЫХ КАНАЛОВ БЕЗ ПАМЯТИ.

КФ МГТУ им. Н.Э. Баумана, Калуга, 248000, Россия

Верхние границы вероятности ошибки для блочной передачи дискретных сообщений по симметричному дискретному каналу без памяти с двоичным входом при наличии полной обратной связи обобщаются на случай  $K$ -ичного симметричного канала без памяти и произвольного дискретного канала без памяти с двоичным входом.

I.  $K$ -ичным симметричным каналом называется канал связи с переходной матрицей

$$P_{ij} = \begin{cases} q, & \text{если } i = j \\ p, & \text{если } i \neq j \end{cases}$$

где  $i, j = \overline{1, K}$ ,  $p < q$ ,  $q + (K-1)p = 1$ .

Блочная передача с обратной связью для случая двоичного симметричного канала без памяти ( $K=2$ ) изучена. Здесь исследуется случай  $K \geq 3$ . Обозначим через  $R > 0$  скорость передачи, а через  $C$  — пропускную способность.

Теорема I. Для вероятности ошибки  $P_{\text{ош}}$  при блочной передаче длины  $\tau$  дискретных сообщений с полной обратной связью по  $K$ -ичному симметричному каналу без памяти справедлива следующая асимптотическая ( $\tau \rightarrow \infty$ ) верхняя оценка

$$P_{\text{ош}} \leq \exp\{-\tau F(R)\} (1 + o(1)), \quad (1)$$

где при всех  $R$ ,  $0 < R < C$ , величина  $F(R)$  есть положительная выпуклая вниз функция скорости передачи  $R$ .

Для всех  $R$ ,  $R_{\text{сч}} \leq R < C$ , где  $R_{\text{сч}}$  — критическая скорость передачи без обратной связи, функция  $F(R)$  совпадает с экспонентой границы сферической упаковки, т. е. оптимальна, а при  $R \rightarrow 0$

$$F(0) \equiv \lim_{R \rightarrow 0} F(R) = -\ln \left\{ \frac{2K-1}{K} \cdot q \left( \frac{p}{q} \right)^{(K-1)/(2K-1)} \right\}. \quad (2)$$

Можно показать, что

$$F(0) > E(0) = -\frac{2K-1}{K} \ln \{ 2\sqrt{pq} + (K-2)p \}, \quad (3)$$

где  $E(0)$ , определяемое (3) представляет собой экспоненту оптимальной вероятности ошибки при передаче без обратной связи с нулевой скоростью.

Из формулы (2) вытекает следующая

Теорема 2. Для  $K$ -ичного симметричного канала в случае нулевой скорости передачи отношение  $f$  максимально возможного числа исправляемых ошибок к длине блока  $\tau$  при наличии полной обратной связи ограничено снизу величиной

$$f \geq \frac{K-1}{2K-1} (1+o(1)), \tau \rightarrow \infty.$$

Отметим, что для  $K=2$  показано, что при  $\tau \rightarrow \infty$  величина  $f=(1+o(1))/3$ , а при отсутствии обратной связи для  $f$  согласно формуле (3) имеем асимптотическое равенство

$$f = \frac{K-1}{2K} (1+o(1)).$$

2. Для формулировки теоремы о верхней границе вероятности ошибки в случае произвольного дискретного канала без памяти с двоичным входом и переходной матрицей  $P_{in}$ ,  $k=1,2$ ,  $n=1, N$ , введем некоторые обозначения. Пусть  $R$  — скорость передачи,  $C$  — пропускная способность, а число  $R_{сч}$  — критическая скорость при отсутствии обратной связи. Определим функцию  $\mu(\lambda) = \max \{ \mu_1(\lambda); \mu_2(\lambda) \}$ , где  $\mu_1(\lambda) = \sum_{n=1}^N P_{1n}^{1-\lambda} P_{2n}^{\lambda}$ , а  $\mu_2(\lambda) = \sum_{n=1}^N P_{2n}^{1-\lambda} P_{1n}^{\lambda}$ ,  $0 \leq \lambda \leq 1$ .

Обозначим через  $q_1$  и  $q_2$ ,  $q_1+q_2=1$ , значения параметра  $\lambda$ , минимизирующие соответственно функции  $\mu_2(\lambda)$  и  $\mu_1(\lambda)$ , т. е.  $\mu_1(q_1) = \mu_2(q_2) = \min \mu_1(\lambda) = \min \mu_2(\lambda) = \sum_{n=1}^N P_{1n}^{q_1} P_{2n}^{q_2}$ , положим  $q = \max \{ q_1; q_2 \}$ .

Теорема 3. Для вероятности ошибки при блоковой передаче со скоростью  $R$  при наличии обратной связи по дискретному каналу без памяти с двоичным входом справедлива верхняя оценка вида (I) из теоремы I, где  $F(R)$  — выпуклая вниз функция скорости передачи  $R$ ,  $0 < R < C$ . Для всех  $R$ ,  $R_{сч}^1 \leq R < C$ , где число  $R_{сч}^1 < R_{сч}$ , функция  $F(R)$  совпадает с экспонентой границы сферической упаковки, а при  $R \rightarrow 0$

$$F(0) \equiv \lim_{R \rightarrow \infty} F(R) = -\ln \mu \left( \frac{1}{1+q} \right).$$

Заметим, что всегда

$$F(0) > E(0) = -\frac{1}{2} \ln \sum_{n=1}^N \sqrt{P_{1n} P_{2n}}, \quad (4)$$

где  $E(0)$  из (4) есть экспонента оптимальной вероятности ошибки при блоковой передаче с нулевой скоростью без обратной связи.

Укажем для примера, что в случае взаимно обратимых каналов с двоичным входом, число  $q = q_1 = q_2 = \frac{1}{2}$ , а следовательно  $F(0) = -\ln \mu \left( \frac{2}{3} \right)$ .

В случае же полностью асимметричного двоичного канала без памяти, т. е. канала с переходной матрицей:  $P_{11}=1$ ,  $P_{12}=0$ ,  $P_{21}=P$ ,  $P_{22}=1-P$ , где  $0 < P < 1$ , имеем число  $q=1$ , а  $F(0) = -\frac{1}{2} (\ln p)$ .

#### Литература:

1. Berlekamp E.R. *Block coding with noiseless feedback*. MIT Ph. D. Thesis, 1994

**Горбунов Александр Константинович** – д-р физ.-мат. наук, заведующий кафедрой "Физика" КФ МГТУ им. Н.Э. Баумана. E-mail: kf\_MGTU\_FIZ@mail.ru.

**Карпов Владислав Игоревич** – студент КФ МГТУ им. Н.Э. Баумана. E-mail: KarpovVI95@yandex.ru.



## ВЫБОР КОДОВ ДЛЯ ОБНАРУЖЕНИЯ ОШИБОК В СИСТЕМАХ С РЕШАЮЩЕЙ ОБРАТНОЙ СВЯЗЬЮ

КФ МГТУ им. Н.Э. Баумана, Калуга, 248000, Россия

Исследуются системы с решающей обратной связью в каналах с переменным параметром. Находятся верхние и нижние границы для вероятностей необнаруживаемых ошибок при использовании групповых кодов в таких каналах и даются рекомендации по выбору кодов.

Системы с решающей обратной связью в дискретных каналах допускают весьма простую техническую реализацию и позволяют получить скорость передачи близкую к пропускной способности в каналах с переменным параметром (КПП). По определению, это  $q$ -ичные каналы с аддитивным шумом, в которых вероятность ошибочного приема  $i$ -го элемента  $0 \leq p(\mu_i) \leq \frac{q-1}{q}$  определяются значениями стационарного случайного процесса  $\mu_i, i=1,2,\dots$  Такая модель хорошо описывает радиоканалы с ионосферным отражением или тропосферным рассеянием радиоволны.

Пропускная способность таких каналов ограничена сверху величиной  $\bar{C} = \int [\log q + P(\mu) \log P(\mu) + (1 - P(\mu)) \log (1 - P(\mu))] \omega(\mu) d\mu$  где  $\omega(\mu)$  - одномерное распределение параметра  $\mu$ . Вероятность безошибочного приема кодового блока длины  $n$  в КПП имеет вид  $P_{\bar{a}}(n) = \int \dots \int \prod_{i=1}^n (1 - P(\mu_i)) \omega(\mu_1, \dots, \mu_n) d\mu_1 \dots d\mu_n$ , где  $\omega(\mu_1, \dots, \mu_n)$  - многомерное распределение параметра  $\mu$ . Во многих практически важных случаях величина  $\bar{C}$  близка к пропускной способности  $q$ -ичного симметричного канала без памяти, имеющего вероятность ошибки  $p = \int P(\mu) \omega(\mu) d\mu$ , а  $P_{\bar{a}}(n)$ , наоборот, оказывается значительно больше вероятности  $(1 - p)^n$  - безошибочного приема блока в таком канале без памяти.

Показано, что для любого  $q$ -ичного канала с памятью и аддитивным шумом всегда существует систематический  $(n, k)$  код, который обеспечивает вероятность необнаруживаемой ошибки

$$P_{\bar{a}} \leq \frac{1}{q^{n-k}} \quad (1)$$

Важнейшей задачей является, однако, нахождение универсальных кодов, обеспечивающих требуемую величину  $P_{\bar{a}}$  для любых КПП. Если случайный параметр  $\mu_i$  изменяется столь медленно, что его можно считать

постоянным на длине кодового блока, то задача строиться к построению кодов, обеспечивающих требуемое значение  $P_{\bar{u}}$  для каналов без памяти с любыми вероятностями ошибок  $p$ . В этом случае для групповых кодов

$$P_{\bar{u}} = \sum_{i=1}^n N_i \left( \frac{p}{q-1} \right)^i (1-p)^{n-i} \quad (2)$$

$N_i$  - число кодовых слов веса  $i$ .

При обрыве в канале, т.е. когда  $P = \frac{q-1}{q}$ , получаем  $P_{\bar{u}} = \frac{1}{q^{n-k}}$ . Однако, в отличие от кодов с исправлением ошибок, для кодов с обнаружением отсутствует, в общем случае, свойство монотонного убывания  $P_{\bar{u}}$  как функции  $P$ .

Найдена нижняя граница для  $N_i$  двоичного кода с заданным  $d_{\min} = 2t + 1$  и с ее помощью границы для  $P_{\bar{u}}$

$$P_{\bar{u}} \leq \sum_{i=2t+1}^n \frac{C_n^{i-t}}{C_i^t} p^i (1-p)^{n-i} \leq \frac{p^t (1-p)^{-t}}{C_{2t+1}^t} \quad (3)$$

Модификация оценок (3)

$$P_{\bar{u}} \leq \frac{1}{C_{n+t}^t} \left[ 2^t - 2^{-n+1} \sum_{i=0}^{t-1} C_{n+t}^{i-t} - 2^{-n} \sum_{i=t}^{2t} C_{n+t}^i \right] < \frac{2^t}{C_{n+t}^t} \quad (4)$$

В последнее время появилось много работ, посвященных проблеме нахождения спектров  $\{N_i\}_{i=1}^n$  различных групповых кодов. Однако, в общем эта проблема еще далека от своего окончательного решения и кроме того, как видно из (2), она не полностью адекватна выбору кодов с минимальным значением  $P_{\bar{u}}$ . Более правильна, на наш взгляд, постановка задачи о нахождении классов кодов, допускающих удобную оценку максимума  $P_{\bar{u}}$  по всем  $p$ .

Доказывается, что для  $q$ -ичных укороченных  $(n, k)$  кодов Рида – Соломона, при условии, что  $n \leq q - 1$ , справедлива оценка

$$P_{\bar{u}} \leq \frac{l}{q^{n-k}} \quad (5)$$

(Например код (15,20) при  $q = 16$  обеспечивает для любых состояний канала  $P_{\bar{u}} \leq 2,7 \cdot 10^{-6}$ ).

В двоичном случае удобными для обнаружения ошибок оказываются каскадные коды с использованием в качестве внешнего кода – кода Рида – Соломона и обнаружением ошибок внутренним и внешним кодам. Для таких кодов получены оценки

$$P_{\bar{u}} \leq \frac{1}{q^{n_2-k_2}} \sum_{j=d_2}^{n_2} C_{n_2}^j q^j p^{d_1 j} (1-p)^{n_1 n_2 - d_1 j} \quad (6)$$

$$P_{\bar{u}} \geq \frac{q-1}{q^{n_2-k_2}} \sum_{j=d_2}^{n_2} C_{n_2}^j q^{j-1} (p(p-1))^{\frac{n_1 2^{k_1-1} \cdot j}{2^{k_1-1}}} (1-p)^{n_1(n_2-j)} \left( 1 - \frac{j-1}{q} \right) \quad (7)$$

где  $(n_1, k_1)$  - параметры внутреннего кода;  $d_1$  - минимальное расстояние внутреннего кода;  $(n_2, k_2)$  - параметры внешнего кода;  $d_2$  - его минимальное расстояние;  $q = 2^{k_1}$ .

Предположим теперь, что переменный параметр можно считать постоянным только на  $n_1 \ll n$  последовательных элементах. Тогда построим каскадный код с внутренним двоичным кодом  $(n_1, k_1)$  и внешним  $q = 2^{k_1}$ -ичным кодом Рида – Соломона. Пусть первичным кодом обнаруживаются ошибки и подблоки с обнаруженными ошибками стираются. Если число стертых подблоков больше  $n_2 - k_2 - 1$ , то переспрашивается весь блок, а в противном случае производится исправление стираний кодом Рида – Соломона. Доказывается, что для такого кода и алгоритма декодирования справедлива оценка

$$P_{ii} \leq n_2 \left( \frac{d_1}{n_1} \right)^{d_1} \left( 1 - \frac{d_1}{n_1} \right)^{n_1 - d_1} \quad (8)$$

В общем случае задача о построении универсального кода для любого КПП остается открытой, но представляется, что справедливо следующее утверждение: если некоторый  $(n, k)$  код обеспечивает  $P_{ii} \leq P_{iii}$  для любого  $0 \leq p \leq \frac{q-1}{q}$  в канале без памяти, то он обеспечивает  $P_{ii} \leq P_{iii}$  и для любого стационарного КПП.

### Литература

[1] Мак – Вильямс Ф. Для А. *Теория кодов, исправляющих ошибки*. М. «Связь» 1990 г.

**Горбунов Александр Константинович** – д-р физ.-мат. наук, заведующий кафедрой "Физика" КФ МГТУ им. Н.Э. Баумана. E-mail: kf\_MGTU\_FIZ@mail.ru.

**Цаплина С.Ф.** – ассистент кафедры "Физика" КФ МГТУ им. Н.Э. Баумана. E-mail: caplina.svetlana@bk.ru.

А.К. Горбунов, А.А. Колянова

## **ВЫБОР СТРУКТУРЫ СЕТИ АВТОМАТОВ ПО УСРЕДНЁННОЙ ЭНТРОПИИ ВНУТРЕННИХ СОСТОЯНИЙ.**

КФ МГТУ им. Н.Э. Баумана, Калуга, 248000, Россия

Рассматриваются конечные автоматы в случайной среде. Предлагается алгебраический метод для реализации этих автоматов абстрактной сетью автоматов.

Решение многих практических задач по построению дискретных вычислительных и управляющих систем в настоящее время встречает ряд трудностей, связанных в первую очередь с увеличением масштабов систем и сложностью выполняемых ими функций, а также о усложнённом функциональных возможностей элементарных базовых дискретных устройств. Одним из путей, позволяющих преодолеть возникшие трудности, является разбиение сложной дискретной системы на совокупность из более простых подсистем, т.е. представленные системы в виде сети взаимосвязанных подсистем. Процесс разбиения и большинство случаев является неоднозначным, вследствие чего возникает задача выбора среди множества возможных сетей одной, в некотором смысле лучшей сети. В предлагаемом докладе применяется информационные критерии выбора сети, сводящийся к определению усреднённой энтропии внутренних состояний конечного автомата. В качестве математической аппаратуры используется алгебраический метод декомпозиции конечных автоматов.

Пусть задана детерминированная дискретная вычислительная (или управляющая) система с памятью. При обработке стохастических последовательностей сигналы во входных, следовательно, и в выходных каналах системы, имеют случайный характер. Алгоритм функционирования такой системы может быть задан моделью детерминированного конечного автомата, погруженного в случайную среду. Характер случайной среды описывается распределением вероятностей появления слов на входе автомата. В стационарном режиме вычислений для рассматриваемого автомата вырабатывается некоторое распределение вероятностей нахождения автомата во внутренних состояниях, зависящих от характера среды и функции переходов автомата. Зная это распределение, можно по формуле Шеннона вычислить значение усреднённой энтропии внутренних состояний автомата, получив тем самым оценку для характеристики экономичности «использования» внутренних состояний автомата. Чем больше энтропия, тем более равномерно распределение вероятностей внутренних состояний. Не трудно видеть, что такое положение ведет к более рациональному использованию

аппаратных средств и повышению надежности дискретной системы, описываемой этим конечным автоматом.

Предположим, что заданная дискретная система описывается конечным автоматом  $A = (X, S, Y, \delta, \lambda)$ , где  $X, S, Y$  – соответственно выходной, внутренний и выходной алгоритмы,  $\delta$  – функция перехода и  $\lambda$  – функция выходов. (Если через  $X^*$  обозначить множество всех слов на алфавите  $X$ , то характер среды описывается распределением вероятностей  $p(\alpha)$  слов в множестве  $X$ ,  $\alpha \in X^*$ ). Приведён метод реализации автомата абстрактной сетью автоматов  $N$ , представляющей из себя совокупность взаимосвязанных автоматов. Внутренняя структура сети  $N$  задаётся графом, вершины которого соответствуют автоматам сети, а дуги – связи между автоматами. Основой для построения сети  $N$  является решетка  $\mathcal{z}$  разбиений с подстановочным свойством (СП-разбиений) на множестве внутренних состояний автомата  $A$ . СП-разбиение представляет собой разбиение, сохраняющее отношение конгруэнтности относительно функции перехода  $\delta$ . В соответствии с теоремой декомпозиции граф сети  $N$  изоморфен базисному графу решетки  $\mathcal{z}$ . Различные возможные структуры сети  $N$  задаются множеством различных подрешеток полной решетки СП-разбиений. Тем самым структура сети  $N$  может быть определена заранее, до построения самой сети. Критерием выбора той или иной структуры сети автоматов принимается энтропия внутренних состояний автоматов, входящих в сеть.

В докладе приводится конструктивный способ построения абстрактной сети автоматов на основе выбранной решетки СП-разбиений и описывается алгоритм выбора на полной решетке СП-разбиений подрешетки, приводящей к сети  $m$  наименьшими энтропиями внутренних состояний автоматов.

#### Литература:

- [1] Г.Галлаер. Теория информации и наделенная связь. М. «Мир», 1990.
- [2] J.Hartmanis, R.E.Stearns, Algebraic Structure Theory of Sequential Machines, Prentice Hall Inc. Engelwood Cliffs, N.Y.

**Горбунов Александр Константинович** – д-р физ.-мат. наук, заведующий кафедрой "Физика" КФ МГТУ им. Н.Э. Баумана. E-mail: kf\_MGTU\_FIZ@mail.ru.

**Колянова Анастасия Андреевна** – студент КФ МГТУ им. Н.Э. Баумана. E-mail: kolyanova.nastia@yandex.ru.

Ю.В. Корабельникова, А.К. Горбунов

## ИЗМЕРЕНИЯ ПАРАМЕТРОВ КВАНТОВЫХ СИГНАЛОВ

КФ МГТУ им. Н.Э. Баумана, Калуга, 248000, Россия

В последние годы определенный интерес привлекли проблемы квантовой теории связи. В настоящем докладе мы решаем некоторые задачи оценивания квантовых сигналов, опираясь на общий подход к оптимальным квантовым измерениям.

Классический сигнал  $\theta = (\theta_1, \dots, \theta_N)$  на фоне квантового шума описывается семейством операторов плотности (о.п.)  $\{p_\theta\}$ ,  $\theta \in \Theta$  в некотором гильбертовом пространстве  $H$ . задается априорное распределение  $\pi(d\theta)$  и функция потерь  $W_\theta(x)$ ;  $x, \theta \in \Theta$ .

Если  $M(dx) - \Theta$  - измерение, то ему отвечает байесовский риск

$$R_\pi(M) = T_r \int K(x)M(dx), \quad (1)$$

где  $K(x) = \int W_\theta(x)p_\theta\pi(d\theta)$ .

Предложение 1. Если  $\Lambda = \int K(x)M(dx)$  эрмитов и  $K(x) \geq \Lambda$ ,  $x \in \Theta$ , то – оптимальное байесовское измерение. Если  $M$  оптимально и существуют производные  $\frac{\delta K}{\delta x_i}$ , то

$$\sqrt{M(dx)} \frac{\delta K}{\delta x_i} \sqrt{M(dx)} \equiv 0.$$

Пусть – пространство неприводимого представления  $p, q$  соотношения коммутаций  $qp - pq = i$ , и  $p_0$  – о.п. в  $H$ . Положим  $V(x, y) = \exp i(px + qy)$  и  $p_{x,y} = V(-y, x)^*$ . (Если  $p_0$  – о.п. фоковского состояния, то  $p_{x,y} = P(x, y)$  – о.п. когерентных состояний).

Предложение 2. Соотношение

$$M(dxdy) = \frac{1}{2\pi} p_{x,y} dxdy \quad (2)$$

определяет  $R^2$  – измерение. Пусть  $H_0$  – пространство другого неприводимого представления  $p_0, q_0$ ,  $\square p_0$  – о.п. на  $H_0$ , однозначно определяемый соотношением  $T_r \square p_0$ .  $V_0(x, y) = T_r p_0 V(-x, y)$ , а  $E(dxdy)$  – совместное спектральное разложение операторов

$$\square p = p \otimes I + I \otimes p_0, \quad \square q = q \otimes I - I \otimes q_0 \quad (3)$$

Тогда  $(H_0, \square p_0, E(\cdot))$  является реализацией измерения (2).

Пусть  $\{p_{\alpha,\beta}\}, (\alpha, \beta) \in R^2$ , - семейство гауссовских о.п.

$$T_r p_{\alpha,\beta} V(x, y) = \exp \left[ i(\alpha x + \beta y) - \frac{\sigma^2}{2} (x^2 + y^2) \right]$$

Пусть априорное распределение  $R^2$  на имеет вид

$$\pi(d\alpha d\beta) = (2\pi s^2)^{-1} \exp\left[-\frac{1}{2s^2}(\alpha^2 + \beta^2)\right] d\alpha d\beta$$

Рассмотрим задачу байесовского оценивания параметров  $(\alpha, \beta)$  при функции потерь  $W_{\alpha, \beta}(x, y) = (x - \alpha)^2 + (y - \beta)^2$ . Байесовский риск дается формулой (1), где

$$K(x, y) = (x^2 + y^2)p - 2\frac{s^2}{s^2 + \sigma^2}(xp_0p + yq_0p) + K_0,$$

причем 
$$T_r p V(x, y) = \exp\left[-\frac{s^2 + \sigma^2}{2}(x^2 + y^2)\right]$$

Предложение 3. Оптимальное байесовское измерение параметров  $(\alpha, \beta)$  дается формулой

$$M(dx, dy) = \frac{1}{2\pi c^2} P\left(\frac{x}{c}, \frac{y}{c}\right) dx dy, \quad (4)$$

Где  $c = 2s^2 / (2s^2 + 2\sigma^2 + 1)$ . Минимальный байесовский риск равен  $((2s^2)^{-1} + (2s^2 + 2\sigma^2 + 1)^{-1})^{-1}$ .

Из предложения 2 следует, что оптимальными байесовскими оценками для  $\alpha, \beta$  являются  $c\hat{p}, c\hat{p}$  (3), где  $p_0, q_0$  описывают независимую систему в фоковском состоянии.

Измерение  $M(dx dy)$  назовем несмещенным, если

$$T_r p_{\alpha, \beta} \left( \int x M(dx dy) \right) = \alpha, T_r p_{\alpha, \beta} \left( \int y M(dx dy) \right) = \beta,$$

для всех  $(\alpha, \beta)$ . Введем среднеквадратичную потерю

$$R_{\alpha, \beta}(M) = T_r p_{\alpha, \beta} \left[ \int ((x - \alpha)^2 + (y - \beta)^2) M(dx dy) \right]$$

Предложение 4. Для любых  $(\alpha, \beta)$

$$\min_M R_{\alpha, \beta}(M) = 2\sigma^2 + 1,$$

Причем минимум достигается на измерении (4) при  $c = 1$ , т.е. наилучшими несмещенными оценками для  $(\alpha, \beta)$  являются (3), где  $p_0, q_0$  описывают независимую систему в фоковском состоянии. [1]

### Литература

[1] Дж. Клаудер, Э. Сударман. Основы квантовой оптики, Москва, «Мир», 1988

**Горбунов Александр Константинович** – д-р физ.-мат. наук, заведующий кафедрой "Физика" КФ МГТУ им. Н.Э. Баумана. E-mail: kf\_MGTU\_FIZ@mail.ru.

**Корабельникова Юлия Викторовна** – студент КФ МГТУ им. Н.Э. Баумана. E-mail: j.strify2012@yandex.ru.

**ИСПОЛЬЗОВАНИЕ КОДОВ В КАНАЛАХ С ПАМЯТЬЮ**

КФ МГТУ им. Н.Э. Баумана, Калуга, 248000, Россия

Для реализации скорости передачи, гарантируемой теоремами кодирования теории информации, в каналах с памятью требуется использование более длинных кодов, чем в случае каналов с независимыми ошибками. Это объясняется тем, что дисперсия числа ошибок на длине  $n$  тем больше, чем больше корреляция (память) между ошибками. Поскольку реализация длинных кодов связана со значительными или даже практически неприемлемыми затратами, то в каналах с памятью часто приходится применять неоптимальные, но относительно более просто реализуемые методы передачи и кодирования. Одной из основных тенденций при разработке таких методов является использование «длинных» - итеративных, каскадных, составных кодов, построенных на основе более «коротких». К таким кодам относятся и коды с неравной защитой, возможности применения которых для передачи по каналам с памятью обсуждаются в настоящем докладе.

В дальнейшем мы будем рассматривать каналы с двумя состояниями – «хорошим» и «плохим». При передаче в этих каналах кодами, длина которых сравнима со средней длительностью «плохого» состояния, приходится ориентироваться на исправление ошибок в «плохом» состоянии, что, конечно, приводит к значительному снижению скорости передачи по сравнению к предельно возможной. Используя НЗ-коды с двумя степенями защиты, ориентированными на «плохое» и «хорошее» состояние, удастся отчасти компенсировать это снижение скорости передачи.

Рассмотрим НЗ-коды, основанные на  $Z$  – конструкции Слоэна. Пусть  $y_1 - (n_1, k_1, d_1)$  – код с порождающей матрицей  $G_1$ , а  $y_2 - (n_2, k_2, d_2)$  – код с порождающей матрицей  $G_2$ . Определим код  $y$  как код с порождающей матрицей  $G = \begin{bmatrix} G(1)O & G(1) \\ G(2) & 1 \end{bmatrix}$ ; где  $O - (k_1 \times l)$  – матрица, причем  $l = \max \{n_1 - n_2, 0\}$ .

Декодирование кода  $y$  может быть осуществлено двумя степенями. Положим для простоты  $n_1 = n_2 = \frac{\pi}{2}$ . Тогда любое слово  $g$  кода  $y$  может быть представлено в виде  $g = (g_1 + g_2, g_1)$ , где  $g_1 \in y_1$ , а  $g_2 \in y_2$ . Пусть  $l = (l_1, l_2)$  – вектор ошибки длины  $\pi$ , а  $l_1, l_2$  – его  $\frac{\pi}{2}$  – подвекторы. Тогда принятое слово  $b = (b_1, b_2) = (g + l) = (g_1 + g_2 + l_1, g_1 + l_2)$ .

На первой ступени вычисляется вектор  $b'$ , равный разности первой и второй половины принятого вектора  $b' = b_1 - b_2 = g_1 + g_2 + l_1 - g_1 - l_2 = g_2 + (l_1 - l_2) =$



$g_2+l'$ , где  $l' = l_1-l_2$ . Затем производится декодирование вектора  $b'$  в коде  $u_2$ . Если вес вектора  $l' - u(l') < t_2$ , то результатом этого декодирования будет слово  $g_2$ . При этом будут правильно определены  $k_2$  информационных символов передававшего слова  $g$ . На второй ступени декодирования вычисляется слово  $b_1-g_2=g_1+l_1$ , а затем производится декодирование слов  $g_1+l_1$  и  $g_1+l_2$  в коде  $u_1$ . Пусть результатом этого декодирования будут слова  $g_1'$  и  $g_1''$  соответственно. Если  $d(b_1-g_2, g_1') < d(b_1-g_2, g_1'')$ , то в качестве  $\hat{g}_1$  – декодированного варианта слова  $g$  выбирается слово  $g_1'$ ,  $\hat{g}_1=g_1'$ , в противном случае  $\hat{g}_1=g_1''$ . Если  $\omega(l) < d_1-1$ , то декодирование  $g_1$  будет произведено верно  $\hat{g}_1=g_1$ .

Декодирование в коде  $u_1$  может быть организовано с обнаружением на исправление ошибок, тогда результатом декодирования может быть отказ от исправления ошибок в  $k_1$  информационных символах, соответствующих слову  $g_1$ .

Применение описанных кодов для передачи по каналам с памятью основано на использовании при выборе кода  $u$  кодов  $u_1$  и  $u_2$ , обеспечивающих требуемую вероятность ошибки в "хорошем" и "плохом" состояниях канала соответственно. При этом в "хорошем" состоянии проводится определение всех  $k_1+k_2$  информационных символов кода  $u$ , а в "плохом" состоянии определяются только  $k_2$  "сильно" защищенных информационных символов.

Передача сообщений по каналам с памятью может рассматриваться в трех случаях:

1. Состояние канала известно и на передающем, и на приемном концах.
2. Состояние канала известно только на приемном конце.
3. Состояние канала не известно ни на передающем, ни на приемных концах.

Рассмотрим двоичный составной канал с двумя состояниями, т.е. канал, в котором состояние канала не меняется на длине кодового слова. Оценим скорость кодирования, достижимую описанными НЗ-кодами в трех вышеназванных ситуациях. В качестве альтернативных вариантов будем рассматривать использование кодов, ориентированных на плохое состояние, и систему кодовой адаптации, в которой адаптация проводится по кодам, ориентированным на "хорошее" и "плохое" состояние. Определенные нами НЗ-коды равны  $n$ , однако сложность декодирования НЗ-кода определяется сложностью декодирования кодов длины  $\frac{\pi}{2}$ , а не  $\pi$ . Поэтому для альтернативных вариантов мы укажем скорости передачи как при использовании кодов длины  $n$ , так и длины  $\frac{\pi}{2}$ .

Обозначим через  $\pi_n$  и  $\pi_x$  – безусловные вероятности "плохого" и "хорошего" состояния канала, а через  $P_n$  и  $P_x$  – соответствующие вероятности ошибок в состояниях. Поскольку мы рассматриваем декодирование с

исправлением ошибок кратности до  $t$ , оценки скорости передачи мы будем основывать на использовании кодов, лежащих в границе Варшамова-Гилберта.

Пример. Для проверки эффективности НЗ-кодов в несоставных каналах с ненулевым временем адаптации было проведено моделирование адаптивной передачи и передачи НЗ-кодами в канале Гилберта-Элиота. Время адаптации при моделировании подтверждают сделанные выводы о сравнительной эффективности НЗ-кодов. Например, в канале с переходными вероятностями из "хорошего" в "плохое" состояние  $P_{GB}=10^{-4}$  и из "плохого"  $P_{GB}=10^{-3}$  и вероятностями ошибки в состояниях, при среднем времени адаптации равным 50 символов, проводилось моделирование НЗ-кода.

### Литература

У.Питерсон, Э.Уэлдон Коды, исправляющие ошибки. – М.: «Мир», 1991

**Горбунов Александр Константинович** – д-р физ.-мат. наук, заведующий кафедрой "Физика" КФ МГТУ им. Н.Э. Баумана. E-mail: kf\_MGTU\_FIZ@mail.ru.

**Волчёнков Дмитрий Николаевич** – студент КФ МГТУ им. Н.Э. Баумана. E-mail: Manfils@yandex.ru.

**ИСПРАВЛЕНИЕ ДЕФЕКТОВ С ПРОСТОЙ РЕАЛИЗАЦИЕЙ**

КФ МГТУ им. Н.Э. Баумана, Калуга, 248000, Россия

Предложен метод исправления дефектов линейно растущей кратности  $t$  на длине блока  $n \rightarrow \infty$ , требующий полиномиального числа операций для построения асимптотически оптимального кода с избыточностью  $r(n,t) = t + o(n)$ .

В настоящей работе рассмотрен асимптотически оптимальный метод исправления дефектов линейно растущей кратности

$$t = \alpha n, 0 < \alpha < 1, n \rightarrow \infty, \quad (1)$$

основанный на разбиении блока длины  $n \rightarrow \infty$  на подблоки длины  $L = o(\sqrt{n \log_2 n})$ ,  $L \rightarrow \infty$ . Для каждого подблока длины  $L$  исправление содержащегося в нем дефекта кратности  $r < L$  осуществляется аддитивным [1] асимптотически оптимальным кодом  $G(L, r)$  с избыточностью

$$r(L, r) = r + o(L) \quad (2)$$

Показано, что в этом случае исправление дефекта кратности  $t$  в блоке длины  $n$  требует

$$r(n,t) = t + o_2(n), o_2(n) < no_1(L) / l + n \log_2 L / L (1-\alpha-\beta) \quad (3)$$

проверочных символов, где константа  $0 < \beta < 1-\alpha$  может быть выбрана сколь угодно малой при  $L = o(\sqrt{n \log_2 n})$ . Таким образом, для построения асимптотически оптимального кода длины  $n$  с избыточностью (2) достаточно построить ансамбль асимптотически оптимальных кодов  $\{G(L,r), r = 1L\}$  длины  $L$ . Сложность  $k(n)$  кодирования  $D(n)$  декодирования блока длины  $n$  оцениваются как :

$$K(n) < n (K(L)/L + D(L)/L + 1 - \alpha), D(n) < 2n (D(L)/L + 1 - \alpha) \quad (4)$$

В качестве  $D(L,r)$  может быть использован нелинейный код или линейный код.

Перейдем к описанию процедуры кодирования. Разобьем множество позиций  $N = \{1, 2, \dots, n\}$  на подблоки  $N_1 = \{1, \dots, L\}, \dots, N_j = \{(j-1)L+1, \dots, jL\}, N_m = \{n-L+1, \dots, n\}$  длины  $L = o(n)$ . Здесь и далее без ограничения общности считается, что  $m = n/L$  есть целое число. Пусть блок  $N_j$  содержит  $t_j$  дефектных позиций,  $0 < t_j < L$ ,  $j = 1, m$ , причем согласно (1)  $t_j = t = \alpha n$ ,  $0 < \alpha < 1$ . В блоке  $N$  выделим два вспомогательных подблока  $M$  и  $P$ , в каждом из которых доля дефектных символов не превосходит  $\alpha$ . Блок  $M$  имеет длину  $L = n \log_2 L / L (1-\alpha-\beta) = o(n)$ , где константа  $0 < \beta < 1-\alpha$  выбирается так, чтобы было равно  $L$ . Нетрудно видеть, что при  $L = o(\sqrt{n \log_2 n})$ , а при  $L = o(\sqrt{n \log_2 n})$  константа  $\beta$  может быть выбрана сколь угодно малой. Блок  $P$  имеет длину  $L$ . Вначале выделяется блок  $M = M(j) = \{(j-1)L+1, jL\}$ , где параметр

$j, 1 < j < L(1-\alpha-\beta) / \log_2 L$ , выбирается таким образом, чтобы блок  $M$  содержал  $m < \alpha l$  дефектных позиций. Оставшийся подблок  $N > M$  имеет длину  $n-L \sim n$  и содержит  $t$  или менее дефектных позиций. Поэтому для некоторого номера  $f$  найдется подблок  $N_f < N > M$ , содержащий  $\gamma = [Lt / (nL)] \sim \alpha L$  или менее дефектных позиций. Далее блоки  $M$  и  $P=N_f$  считаются заданными для известного дефекта  $S$ . Множество  $N-M-P$  содержит  $m' = m (1 - \log_2 l / l(1-\alpha-\beta)) - 1$  подблоков  $N_j$ , причем множество номеров подблоков  $\Phi = \{1, 2, \dots, m\} > \{(j-1)L/l, \dots, jL/l\} > \{f\}$  однозначно задается номерами  $j$  и  $f$  подблоков  $M$  и  $P$ .

Каждый блок  $N_j, j < \Phi$  используется для передачи  $K_j = L - r(L't_j)$  очередных символов сообщения  $A$ , которые кодируются кодом  $G(L't_j)$ , позволяющим исправить все  $t_j$  дефектных символов блока  $N_j$ . Число  $K = \sum_k K_j$  всех передаваемых символов сообщения  $A$  согласно (2), удовлетворяет оценке (3) и является асимптотически оптимальным. Однако, для декодирования каждого подблока  $N_j, j < \Phi$  и номера  $f_j$  вспомогательных подблоков. Передача этих параметров осуществляется следующим образом.

Пусть  $t'_j$  есть  $\gamma = [\log_2 l]$  - значное двоичное представление числа  $t_j$ , а  $f'$  есть  $[\log_2 m]$  - значное представление номера  $f$  блока  $P=N_f$ . Блок  $M = M(j)$  используется для передачи вспомогательного сообщения  $I = \{f' t'_j / j < \Phi\}$  длины  $|I| = (m(1 - \log_2 l / l(1-\alpha-\beta)) - 1) * \gamma + [\log_2 m] \sim n (\log_2 l / l)$ . Сообщение  $I$  кодируется в блоке  $M$  адаптивным асимптотически оптимальным кодом  $G(L\alpha L)$ , содержащим

$$r(L, \alpha L) = \alpha L + o(L) \quad (5)$$

проверочных символов. Сообщение  $I$  может быть передано в блоке  $M'$  поскольку  $|I| < L - r(L'\alpha L) \sim (n \log_2 L / L) \cdot (1-\alpha / 1-\alpha-\beta)$ . При известном номере  $j$  блока  $M=M(j)$  и заданном коде  $G(L'\alpha L)$  декодер может найти сообщение  $I$  и определить тем самым множества  $\Phi$  и  $T$ . Таким образом, для успешного декодирования осталось осуществить передачу декодеру номера  $j$  блока  $M$ . Двоичное представление  $j'$  номера  $j$  задано ниже  $r = [\log_2 l]$  разрядами и кодируется асимптотически оптимальным кодом  $G(L'\Phi)$  при помощи блока  $P$ .

Пусть  $V_j$  обозначает  $L - r$  - значный вектор, принимаемый декодером в блоке  $N_j, j < \Phi$  и блока  $M$  векторы  $V_j$  известны кодеру для всех  $j \neq f$ . По известным векторам  $V_j, j \neq f$  кодер вначале вычисляет векторы "Сообщений"  $A_j$  длины  $L' = L - r(L'\Phi) \sim (1-\alpha)L$ , полученные декодированием векторов  $V_j$  кодом  $G(L'\Phi)$ . Иначе говоря, кодер осуществляет декодирование векторов  $V_j$  в предположении, что кодирование всех подблоков  $N_j$  производилось одним и тем же кодом  $G(L'\Phi)$ .

Далее кодер вычисляет сообщение  $A_f$  длины  $L'$  для блока  $P=N_f$ . Пусть  $H(L'r)$  есть проверочная матрица укороченного кода Хэмминга длины  $L'$  с  $r$  проверочными разрядами, и пусть  $H$  есть проверочная матрица кода  $G(n')$  длины  $n' = mL' \sim (1-\alpha)n$ , полученная повторением матрицы  $H(L'r)$ ,  $m$  раз. Сообщение  $A_f$  строится таким образом, чтобы вектор  $A' = (A', \dots, A_f, \dots, A_m)$  длины  $n'$  имел синдром  $j'$  пл коду  $G(n')$ , т.е. чтобы выполнялось соотношение

$$A'N_T = \int A_j N_T(L'r) = j' \quad (6)$$

Для произвольного  $j'$  вектор  $Af$ , очевидно, может быть вычислен, поскольку  $Af$  содержит  $L'$  последовательных разрядов вместо  $r$  последовательных разрядов, необходимых для получения произвольного синдрома по матрице  $H(L'r)$ .

Лемма 1. При любом натуральном  $n$  функция  $t(n, B')$  определена почти всюду на  $\beta^\infty$  и измерима относительно  $\mathfrak{S}(\beta)$ .

Среднее число букв алфавита  $\beta$ , необходимых для декодирования первых  $n$  букв сообщения есть  $c(n) = \int_\beta t(n) dp$ . Верхней и нижней стоимостями назовем  $C = \lim_{n \rightarrow \infty} \frac{1}{n} C(n)$  и  $\underline{C} = \lim_{n \rightarrow \infty} \frac{1}{n} \underline{C}(n)$ , которые определены для любого кодирования.

Основная теорема для исправления дефектов с простой реализацией.

А. При любых источнике и кодировании  $C \geq \underline{N} n^{-1} \text{ПВП}$  и  $\underline{C} \geq \underline{N} n^{-1} \text{ПВП}$ .

В. Для любого источника существует кодирование, для которого  $C \geq \underline{N} n^{-1} \text{ПВП}$  и  $\underline{C} \geq \underline{N} n^{-1} \text{ПВП}$ .

Замечание. В отличие от формулировок других авторов дешифруемость не требуется ни в «А», ни в «В».

Теорема 1. Если  $\underline{C} < \infty$ , то отображение  $\varphi$  почти всюду взаимно однозначно.

Теорема 2. Если источник бернуллиевский,  $\text{П}\sigma\text{П} < \infty$ , то кодирование побуквенное и дешифруемое, то  $C = \underline{C} < \infty$  и равны стоимости.

### Литература

1. Мак-Вильямс Дж. Теория кодов, исправляющих ошибки. – М.: «Связь», 1991. – 744с.

**Горбунов Александр Константинович** – д-р физ.-мат. наук, заведующий кафедрой "Физика" КФ МГТУ им. Н.Э. Баумана. E-mail: kf\_MGTU\_FIZ@mail.ru.

**Волчёнков Дмитрий Николаевич** – студент КФ МГТУ им. Н.Э. Баумана. E-mail: Manfils@yandex.ru.

А.К. Горбунов, И.В. Баранникова

## К ВОПРОСУ ОБ АДАПТИВНОМ РАСПОЗНАНИИ ОБРАЗОВ

КФ МГТУ им. Н.Э. Баумана, Калуга, 248000, Россия

Распознавание образов (объектов, процессов, ситуаций) всегда происходит на основе наблюдения некоторых физических сигналов-носителей информации об этих "образах".

Законы распределения вероятностей, вообще говоря, случаемых наблюдаемых сигналов известны не полностью, а в лучшем случае, с точностью до совокупности параметров "обстановки", в которой происходит распознавание. Оптимальные алгоритмы распознавания совместно с оценкой неизвестной обстановки в случае, когда в разных ситуациях законы распределения сигналов различны, были найдены.

В докладываемой работе синтезируется алгоритм распознавания образов в случае, когда во всех ситуациях закон распределения наблюдаемых сигналов одинаков и зависит как от неизвестных параметров обстановки, так и от некоторых информативных параметров. Последние для различных распознаваемых ситуаций могут и совпадать, но их законы распределения для этих ситуаций различны.

Алгоритм выбора  $s$ -ого образа ( $s=1,2,\dots,m$ ) имеет при этом вид:

$$\sum_{i=1}^m w_{is} p_i Q_i(x, \lambda^*) = \sum_{i=1}^m w_{ij} p_i Q_i(x, \lambda^*) \quad (1)$$

при любых  $j \neq s$ .

Здесь  $w_{ij}$  – потери при выборе  $j$ -ого образа, тогда как в действительности имеет место  $i$ -ая ситуация.

$p_j$  – априорная вероятность  $j$ -ой ситуации;

$$Q_i(x, \lambda^*) = \begin{cases} P_i'(\lambda^*) & \text{при } \lambda^* \in \bigcup_{i=1}^m \Lambda_i \\ \max P(x/\lambda, \alpha) & \text{при } \lambda^* \in \bigcup_{i=1}^m \Lambda_i \\ \lambda \in \Lambda_i, \alpha & \end{cases} \quad (2)$$

$P_i'(\lambda)$  – априорная плотность вероятности информативных параметров  $\lambda = \{\lambda_1, \dots, \lambda_n\}$  в  $i$ -ой ситуации;

$\lambda^*(x)$  – оценка максимального правдоподобия вектора  $\lambda$ , полученная совместно с оценкой вектора параметров обстановки  $\alpha = \{\alpha_1, \dots, \alpha_2\}$ , т.е. с помощью решения системы уравнений:

$$\frac{\partial}{\partial \beta^{(i)}} \ln P(x/\beta) = 0, \quad (i = 1, 2, \dots, k+r) \quad (3)$$

где  $\beta = \{\alpha, \lambda\}$  – составной вектор, а  $P(x/\beta)$  – представляет собой закон рас-

пределения вероятностей для наблюдаемых данных (сигнала)  $x = \{x_1, \dots, x_n\}$ .

Для двувальтернативных задач алгоритм принятия I-го решения (образ с номером I) приводится к виду:

$$\frac{Q_1(x, \lambda^*)}{Q_2(x, \lambda^*)} \geq \frac{P_2 W_{21} - W_{22}}{P_1 W_{12} - W_{11}} \quad (4)$$

Приведенный алгоритм проиллюстрирован примером распознавания сигналов с различающимися законами распределения амплитуд, обладающих случайными фазами, при приеме этих сигналов в шумах. Предполагается, что слечайные фазы не несут информации о классе объекта, при наличии которого получен сигнал, шумы являются гауссовскими.

Законы распределения амплитуд представлены в виде:

$$P_i(\lambda) = \frac{1}{n_i!} \left( \frac{\lambda^2}{2\sigma_i^2} \right)^{n_i} e^{-\frac{\lambda^2}{2\sigma_i^2}} \frac{\lambda}{\sigma_i^2}, \quad i = 1, 2, \quad 0 \leq \lambda < \infty. \quad (5)$$

Выбором параметров  $n_1, n_2, \sigma_1, \sigma_2$  можно обеспечить описание широкого класса распределений вероятности.

Найден вид алгоритма распознавания, соответствующего указанным сигналам и параметрам и рассчитаны вероятности правильного распознавания первой и второй ситуаций.

Физически рассмотренная задача может относиться, например, к случаю распознавания объектов одинаковой формы на основании наблюдения отраженных от них радиационных сигналов при различающихся статистически отражающих поверхностях объектов.

#### Литература:

- 1) Сакрисон Д. *Лекции по теории связи*. – М.: Мир, 1992, 168с.

**Горбунов Александр Константинович** – д-р физ.-мат. наук, заведующий кафедрой "Физика" КФ МГТУ им. Н.Э. Баумана. E-mail: kf\_MGTU\_FIZ@mail.ru.

**Баранникова Ирина Викторовна** – студент КФ МГТУ им. Н.Э. Баумана. E-mail: barannikova995@gmail.com.

**КОДЫ С ЗАДАННЫМ РАНГОВЫМ И ХЭММИНГОВСКИМ РАССТОЯНИЯМИ.**

КФ МГТУ им. Н.Э. Баумана, Калуга, 248000, Россия

Рассмотрим некоторый вектор  $\vec{x} = (x_1, x_2, \dots, x_n)$ , где  $x_i \in GF(q^n)$ . Рангом  $r(\vec{x}, q)$  вектора  $x$  называется максимальное число его координат, линейно независимых над  $GF(q)$ . Ранговое расстояние кода – это минимальный ранг разности кодовых векторов.

Очевидно, если код имеет ранговое расстояние  $d$ , то его хэмминговское расстояние, по крайней мере, не меньше  $d$ . Известно, что при  $N > n$  существуют коды с максимальным ранговым расстоянием (МРР – коды), т.е. коды, у которых для рангового расстояния справедлива формула:

$$d = n - k + 1,$$

где  $k$  – число информационных символов кода. Следовательно, МРР – коды являются одновременно и кодами с максимально достижимым хэмминговским расстоянием, т.к. достигается граница Плоткина-Синглтона.

В случае, когда длина кодового слова  $n > N$ , хэмминговское расстояние может превышать ранговое. Построим несколько кодов, у которых ранговое расстояние  $N$ , а хэмминговское больше  $N$ . Введем обозначение  $x^{[1]} = x^{[1]}$

Лемма 1. Код, заданный порождающей матрицей

$$G = \begin{pmatrix} g_0 g_1 \dots g_{N-m-2} g_{N-m-1} \dots g_{N-1} g_0 g_1 \dots g_m \\ g_{N-m-1}^{[1]} \dots g_{N-1}^{[1]} g_0^{[1]} g_1^{[1]} \dots g_m^{[1]} \dots g_{N-2}^{[1]} g_{N-1}^{[1]} \end{pmatrix}, \quad (1)$$

где  $g_0, g_1, \dots, g_{N-1}$  линейно независимы над  $GF(q)$ ,  $m = [(N-2)/2]$  ( $[a]$  – целая часть числа  $a$ ), имеет ранговое расстояние  $d_p = N$  и хэмминговское  $d_x = [\frac{3N}{2}]$ . Теорема 1. Код, заданный порождающей матрицей

$$G = \left[ \begin{array}{ccccccc} g_0 \dots g_{N-1} g_0 \dots g_m & & & & & & \\ & g_0 \dots \dots g_{N-1} g_0 \dots g_m & & & & & \\ & & g_0 \dots \dots g_{N-1} g_0 \dots g_m & & & & \\ & & & \ddots & & & \\ & & & & g_0 \dots \dots g_{N-1} g_0 \dots g_m & & \\ & & & & & g_{N-m-1}^{[1]} \dots g_{N-1}^{[1]} g_0^{[1]} \dots g_m^{[1]} \dots g_{N-1}^{[1]} & \end{array} \right] k \quad (2)$$

где  $g_0, g_1, \dots, g_{N-1}$  -линейно независимы над  $GF(q)$ ,  $m = [(N-2)/2]$ , имеет ранговое расстояние  $d_p = N$  и хэмминговское расстояние  $d_x = [\frac{3N}{2}]$ .







УДК 621.391

А.К. Горбунов, С.А. Гвоздков

## **КОСВЕННОЕ ИЗМЕНЕНИЕ КВАНТОВОГО ЭЛЕКТРОМАГНИТНОГО СИГНАЛА С ПОМОЩЬЮ ГОМОДИННОГО ПРИЕМА.**

КФ МГТУ им. Н.Э. Баумана, Калуга, 248000, Россия

Рассмотрено измерение когерентного сигнала, названное гомодинным приемом. Найдено, что гомодинный прием позволяет асимптотически, при больших числах заполнения, достигнуть пропускной способности идеального канала. В отличие от классики максимум пропускной способности достигается при мощности гомодина приблизительно равной мощности сигнала.

Исследование квантовых каналов с электромагнитным излучением показало, что источники когерентного излучения являются наиболее выгодными с точки зрения передачи информации /1/.2/. Анализ когерентного канала, в котором среднее число фотонов, регистрируемых в каждом квантово состоянии, мало, показывает, что в этом случае измерения чисел заполнения позволяет получить количество информации, асимптотически совпадающее с пропускной способностью идеального канала /1/. В случае больших средних чисел заполнения, который должен иметь аналогию в классике, сравнение результатов /1/ с известным результатом Шеннона-Талера показывает, что измерение чисел заполнения или напряженности поля приводит к потере половины информации по сравнению с измерением в классике полного набора переменных поля. Рассмотрим, нельзя ли восполнить потерю половины информации с помощью косвенного измерения. Будем считать состояние осцилляторов поля, создаваемого передатчиком, статистически независимыми друг от друга, тогда для нахождения пропускной способности достаточно определить максимальное количество информации на одну степень свободы.

### Постановка задачи.

Прием сигнала, по аналогии с классикой названный гомодинным приемом, должен осуществляться над системой, возникшей в результате взаимодействия сигнального и опорного излучений с одинаковой несущей. Источники сигнального и опорного излучений создают когерентные состояния электромагнитного поля, характеризующиеся комплексными параметрами  $\alpha_s, \alpha_g$  /3/, где  $\bar{n}_s = |\alpha_s|^2$ ,  $\bar{n}_g = |\alpha_g|^2$  - средние числа заполнения. Матрица плотности когерентного состояния хорошо известна /1/.

Поле смешанного излучения, измеряемое приемником, представим в виде нового набора осцилляторов, динамические переменные которых связаны с динамическими переменными исходных осцилляторов линейным ортогональным преобразованием /4/. Несложно показать, что излучение, поступающее на приемник, также находится в когерентном состоянии, характеризующемся новыми комплексными параметрами  $\alpha_1$  и  $\alpha_2$ . Естественно, что  $|\alpha_1|^2 + |\alpha_2|^2 = |\alpha_s|^2 + |\alpha_g|^2$  – суммарное среднее число фотонов, не зависит от выбора набора осцилляторов, по которым разлагается поле.

Приемник измеряет числа заполнения когерентных сигналов на выходе. Условная вероятность регистрации определенного числа фотонов при заданных состояниях сигнала и гомодина представляет собой, как известно, пуассоновское распределение. Приемник, измеряющий числа заполнения, взаимодействует с излучением статистически, причем, эффективность регистрации одного фотона  $r < 1$ . Т.к. пуассоновское распределение оказывается “устойчивым” к ослаблению /1/, то распределение регистрируемых квантов также является распределением Пуассона со средними:

$$\bar{n}_1 = r|\alpha_1|^2 = r \left\{ |\alpha_s|^2 \sin^2 \theta + |\alpha_g|^2 \cos^2 \theta + 2|\alpha_s||\alpha_g| \sin \theta \cos \theta \cos(f_s - f_g) \right\},$$

$$\bar{n}_2 = r|\alpha_2|^2 = r \left\{ |\alpha_s|^2 \cos^2 \theta + |\alpha_g|^2 \sin^2 \theta - 2|\alpha_s||\alpha_g| \sin \theta \cos \theta \cos(f_s - f_g) \right\},$$

где  $\alpha_{1,2} = |\alpha_{1,2}| e^{if_{1,2}}$ ,  $\theta$ -параметр канала.

Не ограничивая общности, можно положить  $f_g = 0$

#### Нахождение асимптотики пропускной способности канала и обсуждение результатов.

Количество информации в числах регистрируемых фотонов  $n_1$  и  $n_2$  о переданном сигнале  $\alpha_s$  может быть определено в следующем виде:

$$I = \sum_{n_1=0}^{\infty} \sum_{n_2=0}^{\infty} \int_{-1}^1 \int_0^{\infty} Q(A, \Gamma) P\left(n_1, n_2 / A, \Gamma\right) \ln \frac{P\left(n_1, n_2 / A, \Gamma\right)}{\underline{P}(n_1, n_2)} dA d\Gamma, \quad (1)$$

где  $A = r|\alpha_s|^2$ ,  $r = \cos \varphi$ ,  $P\left(n_1, n_2 / A, \Gamma\right) = P\left(n_1 / A, \Gamma\right) P\left(n_2 / A, \Gamma\right) = \frac{\bar{n}_1^{n_1} e^{-\bar{n}_1} \bar{n}_2^{n_2} e^{-\bar{n}_2}}{n_1! n_2!}$ ,

$$\underline{P}(n_1, n_2) = \int_{-1}^1 \int_0^{\infty} Q(A, \Gamma) P\left(n_1, n_2 / A, \Gamma\right) dA d\Gamma$$

$Q(A, \Gamma)$  – нормированное распределение входного сигнала.

Отыскание пропускной способности сводится теперь к максимизации (1) по входному распределению, при учете ограничения средней энергии сигнального излучения:  $\int_{-1}^1 \int_0^{\infty} Q(A, \Gamma) dA d\Gamma = a$  (2) и дополнительном ограничением  $a \gg 1$ .

Строгая вариационная задача не решается, и приходится отыскивать достаточно близкие верхнюю и нижнюю оценки пропускной способности. Удастся показать, что пропускная способность имеет максимум при мощности гомодина, приблизительно равной мощности сигнального излучения

$/N_{gom} = 0,842N_{sign}/$  и получить асимптотически совпадающие оценки для следующих случаев:

$$N_{gom} = 0 / 1 / \frac{1}{2}(\ln a + 1) - \frac{1}{2}(\ln 2\pi - c^*) + 0 \left( \frac{\ln a}{a} \right) \leq I \leq \frac{1}{2}(\ln a + 1) + 0 \frac{1}{\sqrt{a}}, \quad (3)$$

$$N_{gom} = N_{opt} \ln a - 2,403 + 0 \left( \frac{\ln a}{a} \right) \leq I \leq \ln a - 2,403 + 0 \left( \sqrt{\frac{\ln a}{a}} \right), \quad (4)$$

$$N_{gom} \rightarrow \infty \frac{1}{2} \ln a + 2 + 0 \left( \frac{\ln a}{a} \right) \leq I \leq \frac{1}{2} \ln a + \ln \ln a + (1 - \ln 8\pi) + 0 \left( \sqrt{\frac{\ln a}{a}} \right), \quad (5)$$

Из сопоставления (3)-(5) видно, что при достаточно большой мощности сигнала пропускная способность когерентного канала гомодина от  $\frac{1}{2} \ln a$  до максимального значения  $(\ln a - 2,4)$ , достигаемого при оптимальной мощности гомодина, составляющей 0,842 от мощности сигнала, при дальнейшем росте мощности гомодина пропускная способность уменьшается и при  $N_{gom} \gg N_{sign}$  падает вновь до  $\frac{1}{2} \ln a$ . Полученный результат не имеет аналогии в классике, т.к. при классическом расчете гомодинамирования или гетеродинамирования, учитывающем только тепловые шумы, оптимум достигается при мощности опорного сигнала, стремящейся к бесконечности. Учет квантовых шумов приводит к появлению двух конкурирующих факторов: возможности различения фазы и увеличению дробового шума. Поэтому, вопреки предположениям об идентичности с классикой [5], пропускная способность достигает максимума при конечной мощности гомодина. При мощности гомодина выше оптимальной превалирующее значение имеет возрастание дробового шума, приводящее к уменьшению пропускной способности.

Т.О., гомодинный прием позволяет извлечь из ансамбля когерентных состояний количество информации близкое, чем прямое измерение чисел заполнения или напряженности поля.

### Литература:

J.P.Gordon. Quantum effects in communication systems, Proc. IRE, 2002, vol.90, pp. 1898-1908.

**Горбунов Александр Константинович** – д-р физ.-мат. наук, заведующий кафедрой "Физика" КФ МГТУ им. Н.Э. Баумана. E-mail: kf\_MGTU\_FIZ@mail.ru.

**Гвоздков Сергей Александрович** – студент КФ МГТУ им. Н.Э. Баумана. E-mail: wildhowkaniki@yandex.ru.

А.К. Горбунов, А.С. Жигачев

## МЕТОД РАСЧЕТА ХАРАКТЕРИСТИК СИСТЕМ ОДНОСТОРОННЕГО И ДВУСТОРОННЕГО ДЕЙСТВИЯ С ОБРАТНОЙ СВЯЗЬЮ, ОСНОВАННЫЙ НА ИСПОЛЬЗОВАНИИ НЕКОТОРЫХ РЕЗУЛЬТАТОВ ТЕОРИИ ГРАФОВ.

КФ МГТУ им. Н.Э. Баумана, Калуга, 248000, Россия

Для большинства известных алгоритмов передачи (с переспросом) точные значения вероятностных характеристик и скорости передач удалось определить лишь при условии использования идеального (без шумов и задержки) обратного канала. Только для нескольких очень простых алгоритмов были при передаче сообщений по каналам с ограниченной памятью, основанный на использовании графов.

Рассмотрим передачу дискретных сообщений по прямому и обратному стационарным дискретным каналам с ограниченной памятью, т.е.  $P(Y|Y_{-1}, \dots, Y_{-(K_n+x)}) = P(Y|Y_{-1}, \dots, Y_{-K_n})$  и  $P(y|y_{-1}, \dots, y_{-(K_0+x)}) = P(y|y_{-1}, \dots, y_{-K_0})$  для всех  $x > 0$ . При этом  $Y \in \{Y\}_{\overline{1, M}}$  и  $y \in \{y\}_{\overline{1, m}}$ , где  $\{Y\}_{\overline{1, M}}$  и  $\{y\}_{\overline{1, m}}$  множества (мощности  $M$  и  $m$ ) событий, имеющих место при приеме комбинаций длины  $n$  и сигналов обратной связи, передаваемых соответственно по прямому и обратному каналу. В качестве вероятностных характеристик системы выберем вероятности приема сообщения ровно один раз без ошибок ( $P\{\mu=1, G\}$ ) и с необнаруженными ошибками ( $P\{\mu=1, F\}$ ) и вероятности неполучения ( $P\{\mu=0\}$ ) и получения сообщения получателем более чем один раз ( $P\{\mu>1\}$ ). Предлагаемый метод анализа заключается в следующем.

1. Для заданного алгоритма строятся графы приема-передачи сообщения, описывающие процесс передачи сообщения по системе при различных начальных условиях его передачи  $\rho_v \in S$ ,  $v = \overline{1, N}$ , и заданных характеристик каналов связи. При этом количество таких графов осуществляется первая передача заданного сообщения по системе. Очевидно, что  $N = c * m^{K_0} * M^{K_n}$  где  $c$  - некоторая константа.

2. По построенным графам, с учетом операций их преобразования, описанных в [1,2], находятся условные вероятности  $p(\rho_v | \rho_u)$ ,  $\rho_v$  и  $\rho_u \in S$ , и строится матрица  $P = \|p(\rho_v | \rho_u)\|_{\substack{v=\overline{1, N} \\ \mu=\overline{1, N}}}$ , по которой определяются финальные вероятности  $P(\rho_v)$ ,  $v = \overline{1, N}$ .

3. По построенным графам находятся условные вероятности  $P\{\mu=1, G | \rho_v\}$ ,  $P\{\mu=1, F | \rho_v\}$ ,  $P\{\mu=0 | \rho_v\}$  и  $P\{\mu>1 | \rho_v\}$  для всех  $\rho_v \in S$ , а затем находятся вероятностные характеристики по формуле  $P\{\bullet\} = \sum_{\rho_v \in S} P(\rho_v) P\{\bullet | \rho_v\}$ .

4. По графам находятся условные производящие функции  $P_{\rho\nu}(t)$  для вероятностей окончания передачи сообщения после  $L$  его передач по прямому каналу и определяется среднее время передачи сообщения по системе по формуле

$$\bar{n} = (n + \Delta n) \sum_{\rho\nu \in S} P(\rho\nu) \left[ \frac{d}{dt} P_{\rho\nu}(t) \right]_{t=1}$$

где  $\Delta n$  - время между концом передачи предыдущей и начало передачи последующей комбинацией, передаваемых по прямому каналу.

Предложенный метод расчета применим почти ко всем известным системам с переспросом о неограниченной задержкой сообщения при передаче. Из описания метода следует, что наиболее сложной частью анализа является построение графов приема-передачи сообщения при заданном алгоритме. Однако, для преодоления этой трудности может быть использована ЭВМ. Для случая независимого поражения комбинаций линейного  $(n, k)$  кода, передаваемых по прямому и обратному каналам, о использованием вышеописанного метода удалось проанализировать большое число алгоритмов, из числа известных, используемых в системах двустороннего действия с переспросом. Пример расчета системы с переспросом и ожиданием, с использованием предложенного метода, приведен в работе.

#### Литература.

[1]. W.H. Huggins. *Signal-flow graphs and random signals*. Proc. of the IRE, vol.45, num.1. January. 1991.

**Горбунов Александр Константинович** – д-р физ.-мат. наук, заведующий кафедрой "Физика" КФ МГТУ им. Н.Э. Баумана. E-mail: kf\_MGTU\_FIZ@mail.ru.

**Жигачев Антон Сергеевич** – студент КФ МГТУ им. Н.Э. Баумана. E-mail: zhiga4yov.tosha@yandex.ru.

## НАИЛУЧШИЕ ОЦЕНКИ СВЕРХУ ДЛЯ ОСНОВНЫХ ПАРАМЕТРОВ ФИЗИЧЕСКИХ СИГНАЛОВ

КФ МГТУ им. Н.Э. Баумана, Калуга, 248000, Россия

В стохастической модели сигналов сохраняются принципиальные свойства: ограниченная длительность и энергия. Устанавливаются наилучшие или асимптотические оценки сверху для основных параметров: числа базисных составляющих и коэффициента сосредоточения энергии в эффективной полосе частот. Обосновывается переход к конечномерной модели, сколь угодно полно сохраняющей информацию. Это исключает известные парадоксы и позволяет найти предельную скорость передачи информации в реальных каналах.

### Постановка задачи

В модели сигналов  $S$ , описываемой случайной функцией  $U_T(t)$ , центрированной и нестационарной относительно функции корреляции, сохраняются их принципиальные свойства: ограниченная длительность  $T$  и энергия  $W_0$  [1], что обеспечивает недетерминированность модели. Другим свойством является сосредоточение основной доли энергии  $W_e$  в эффективной полосе частот  $\Delta f_e = \frac{1}{\Phi_m} \int_0^\infty \Phi_T(f) df$ , где  $\Phi_m$  – максимальное значение спектральной плотности  $\Phi_T(f)$  для средней в  $T$  мощности, соответствующее частоте  $f_m$ . Случайные функции  $U_T(t)$  в определенном смысле могут быть представлены в виде:

$$U_T(t) = \sum_k \xi_k \psi_k(t), \quad (1)$$

где  $\{\xi_k\}$  – случайные величины,  $\{\psi_k(t)\}$  – неслучайные функции времени  $t$ .

Назовем подмножество  $N_0$  из (1) базисным составляющим, если они 1) в совокупности несут основную долю энергии  $S$ ; 2) обладает двойной ортогональностью:  $\xi_k$  некоррелированы,  $\psi_k(t)$  ортогональны; 3) являются финитными функциями  $t$ , причем  $T_k \leq T$ , где  $T_k$  – интервалы, в которых  $\psi_k(t)$  отличны от нуля.

Рассмотрим два способа образования базисных составляющих:

1) Последовательный, когда в (1)

$$\xi_k = \xi(k\tau_0), \quad (2)$$

где  $\xi(k\tau_0)$  – значение  $S$  в точках, в которых средняя ( по интервалу  $T$  ) функция корреляции

$$\bar{R}_T(\tau) = \frac{1}{T} \int_T M\{U(t_1)U(t_2)\} dt_1, \quad (3)$$



где  $M$  – оператор математического ожидания,  $\tau=t_1-t_2$  проходит через нуль, т.е.  $\bar{R}_T(k\tau_0)=0$ ,  $k=1,2,\dots,N$ , причем функция

$$\psi_k(t) = \begin{cases} \psi(t - k\tau_0) & (k-1)\tau_0 \leq t \leq k\tau_0 \\ 0 & \text{при других } t \end{cases} \quad (4)$$

2) одновременный, когда в (1)

$$\xi_k = \int_T U_T(t) \psi_k(t) dt, \quad (5)$$

а  $\psi_k(t)$  удовлетворяют интегральному уравнению

$$\lambda_k^2 \psi_k(t) = \int_T R_T(t, t') \psi_k(t') dt', \quad (6)$$

где  $\lambda_k^2$  и  $\psi_k(t)$  – собственные значения и собственные функции (6), что соответствует (1) в виде разложения Карунена-Лоэва-Пугачева со сходимостью ср.-кв.

Важнейшими параметрами сигналов представляется: 1) число базисных составляющих  $N_0$ ; 2) коэффициент сосредоточения энергии в  $\Delta f_e$ , т.е.

$K_e = W_e / W_0 < 1$ . Сигналы можно считать оптимальными, если они обладают предельными возможными значениями  $N_0$  и  $K_e$ .

#### Основные результаты

Теорема. Максимально возможное число базисных составляющих имеет оценку

$$N_0 \leq [2T\Delta f_e], \quad (7)$$

где  $[ ]$  – целая часть числа в скобках.

При последовательном образовании  $N_0$  оценка (7) – наилучшая и достигается для класса сигналов с минимальным интервалом корреляции [2] для функции  $\bar{R}_T(\tau)$ :

$$\tau_{0\min} = \frac{1}{2\Delta f_e} \leq 0 \quad (8)$$

При одновременном образовании  $N_0$  оценка (7) – асимптотическая и эффективно достигается при достаточно больших  $N_0$  для сигналов со средней функцией корреляции.

$$\bar{R}_T(\tau) = \begin{cases} \left(1 - \frac{|\tau|}{T}\right) \frac{\sin 2\pi\Delta f_e \tau}{2\pi\Delta f_e \tau}, & |\tau| \leq T, \\ 0, & |\tau| \geq T. \end{cases} \quad (9)$$

Коэффициент сосредоточения энергии имеет оценки:

1) при последовательном образовании  $N_0$

$$K_e = \lambda_1^2 \quad (10)$$

где  $\lambda_1^2$  – первое собственное значение (6) с ядром (9) при  $T=1/(2\Delta f_e)$ , причем оценка – наилучшая и достигается, если в (4)  $\psi_k(t)$  – первая собственная функция указанного уравнения;

2) при одновременном образовании  $N_0$

$$K_e \leq \frac{1}{\pi x} \{ \mu[x(\beta + 1)] - \mu[x(\beta - 1)] \}, \quad (11)$$

где  $x=2\pi T\Delta f_e$ ,  $\Delta f_e$  – эффективная полоса частот при функции корреляции (9) для  $T \rightarrow \infty$ :  $\mu(y) = \cos y + y \text{Si} y - \ln y + \text{Ci} y$ ,  $\text{Si} y$  и  $\text{Ci} y$  – соответственно инте-

гральные синус и косинус:  $\beta = \Delta f_e / \Delta f_\infty = \frac{\pi}{2} \frac{x}{x \text{Si}x - \text{cos}x - 1}$ . Оценка (11) – асимптотическая и эффективно достигается при достаточно большом  $N_0$  для сигналов со средней функцией корреляции (9).

#### Вывод

1. Параметр  $N_0$  в обоих случаях ограничен одной и той же величиной за счет ограниченности энергии сигналов.

2. Коэффициент  $K_e$  при последовательном способе не зависит от  $N_0$ , а при одновременном может быть сколь угодно близким к 1 (при достаточно большом  $N_0$ ).

3. Базисные составляющие при одновременном способе могут сколь угодно полно сохранить информацию исходных сигналов.

Тем самым обосновывается переход к конечномерной модели с  $N_0$  измерениями, сохраняющей сколь угодно полно информацию и энергию, а также конечную длительность физических сигналов. Это исключает (в Гауссовом приближении) известные парадоксы и позволяет определить предельную скорость передачи информации в физических каналах.

#### **Литература:**

В.Н. Bharucha, Т.Т. Kadota, On the representation of continuous parameter processes by a sequence of random variables, IEEE Trans., IT-56, N2, 2010.

**Горбунов Александр Константинович** – д-р физ.-мат. наук, заведующий кафедрой "Физика" КФ МГТУ им. Н.Э. Баумана. E-mail: kf\_MGTU\_FIZ@mail.ru.

**Лутовин Евгений Анатольевич** – студент КФ МГТУ им. Н.Э. Баумана. E-mail: zheny906@yandex.ru.

Ю.В. Корабельникова, А.К. Горбунов

## О НЕКОТОРЫХ РЕЗУЛЬТАТАХ В ТЕОРИИ ПОСЛЕДОВАТЕЛЬНОГО ОЦЕНИВАНИЯ.

КФ МГТУ им. Н.Э. Баумана, Калуга, 248000, Россия

1. При изучении задачи последовательного оценивания можно рассматривать два подхода. В минимаксной постановке предполагается, что среднее время наблюдения  $M_\theta \tau$  (где  $\tau$  – момент окончания наблюдений,  $\theta$  – неизвестное оцениваемое значение параметра) при всех допустимых  $\theta, \theta \in \Theta$ , удовлетворяют соотношению

$$M_\theta \tau \leq n, (\theta \in \Theta) \quad (1)$$

Критерием же (например, среднеквадратичным) качества оценок является величина

$$R_M((\tilde{\theta}, \tau), U, n) = \sup_{\theta \in U} M_\theta (\tilde{\theta} - \theta)^2, \quad (2)$$

вычисляемая для различных открытых множеств  $U \subset \Theta$ . Здесь  $\tilde{\theta}$  – оценка параметра  $\theta$ , вычисленная в случайный момент  $\tau$ . При этом представляет интерес сравнение в смысле величины риска (2) всевозможных пар  $(\tilde{\theta}, \tau)$ , удовлетворяющих (1), со всеми непоследовательными оценками  $\bar{\theta}_n = \bar{\theta}_n(x_1, \dots, x_n)$ .

Рассмотрим, в частности, последовательность наблюдений  $x_1, \dots, x_n, \dots$ , образующих стационарную эргодическую цепь Маркова. Предположим, что для величины

$$I(x, \theta) = \int \frac{(p'_\theta(x, y, \theta))^2}{p(x, y, \theta)} dy$$

(аналога информационного количества Фишера для переходной плотности  $p(x, y, \theta)$ ) разность

$$\alpha_n(x, \theta) = M_{x, \theta} I(X_n, \theta) - M_\theta I(X_1, \theta)$$

удовлетворяет одному из следующих условий:

$$\limsup_n \sup_{\theta} \sup_x |\alpha_n(x, \theta)| = 0$$

либо

$$|\alpha_n(x, \theta)| \leq g(x, \theta) / n^{1+\varepsilon}, (\varepsilon > 0),$$

где

$$\sup_{\theta} M_\theta g(X_1, \theta) < \infty.$$

Пусть кроме того переходная плотность достаточно гладко зависит от  $\theta$ . Тогда для любого открытого множества  $U \subset \Theta$

$$\limsup_n \inf_{\tilde{\theta}_n(\tilde{\theta}, \tau)} n \left\{ \sup_{\theta \in U} M_\theta (\tilde{\theta} - \theta)^2 - \sup_{\theta \in U} M_\theta (\tilde{\theta}_n - \theta)^2 \right\} \geq 0$$

где  $\inf$  берется по всем  $(\tilde{\theta}, \tau)$ , удовлетворяющим (1). По-видимому, этот результат может быть обобщен и на любые степенные функции потерь  $|\tilde{\theta} - \theta|^\alpha$ .

В качестве иллюстрации рассмотрим цепь Маркова

$$X_{i+1} = \theta X_i + \xi_{i+1}, i = 1, 2, \dots,$$

(модель авторегрессии), где  $\xi_i$  – независимые гауссовские случайные величины  $(0, \sigma^2)$ ,  $|\theta| < 1$ . Тогда, если  $\tilde{\theta}_n$  – оценка максимального правдоподобия параметра  $\theta$ ,

$$\tilde{\theta}_n = \sum_1^{n-1} X_i X_{i+1} / \sum_1^n X_i^2,$$

то

$$\lim_n n \left\{ \sup_{\theta \in U} M_\theta (\tilde{\theta} - \theta)^2 - \sup_{\theta \in U} M_\theta (\tilde{\theta}_n - \theta)^2 \right\} \geq 0.$$

Здесь  $U$  – произвольное открытое множество,  $U \subset (-1, 1)$ .

2. Другой подход – байесовский – состоит в введении априорной плотности  $\pi(\theta)$ . При этом предполагается, что

$$\int_{\Theta} \pi(\theta) M_\theta \tau d\theta \leq n, \quad (3)$$

и качество оценки для степенных функций потерь  $|\tilde{\theta} - \theta|^\alpha$  измеряется величиной

$$R_B((\tilde{\theta}, \tau), \alpha, n) = \int_{\Theta} \pi(\theta) M_\theta |\tilde{\theta} - \theta|^\alpha d\theta, (\alpha > 0),$$

где  $\tau$  удовлетворяет (3). Ниже мы считаем, что  $\Theta \subset R^1$  – конечный или бесконечный интервал.

Оказывается, с байесовской точки зрения асимптотический выигрыш может быть получен даже для независимых наблюдений  $X_1, \dots, X_n, \dots$ . Точнее, при весьма общих предположениях типа существования и ограниченности информационного количества  $I(\theta)$  справедлива следующая оценка:

$$\liminf_n \inf_{(\tilde{\theta}, \tau)} n^{\alpha/2} R_B((\tilde{\theta}, \tau), \alpha, n) \leq c_\alpha \left\{ \int \frac{\pi(\theta) d\theta}{I(\theta)^{\alpha/2 + \alpha}} \right\}^{\frac{2+\alpha}{2}}, \quad (4)$$

где

$$c_\alpha = \frac{2^{\alpha/2} \Gamma((\alpha + 1) / 2)}{\sqrt{\pi}}$$

С другой стороны,

$$\liminf_n \inf_{\theta_n} n^{\alpha/2} R_B((\theta_n, n), \alpha, n) \geq c_\alpha \int \frac{\pi(\theta) d\theta}{I(\theta)^{\alpha/2}}. \quad (5)$$

Таким образом, в байесовской постановке последовательное оценивание асимптотически эффективнее непоследовательного за исключением случая, когда  $I(\theta) = \text{const}$  п.в. по мере с плотностью  $\pi(\theta)$  (равенство между правыми частями (4) и (5)).

3. Если цепь Маркова  $X_1, \dots, X_n, \dots$  не является эргодической, то в отличие от ситуации, рассмотренной в пп.1-2, последовательное оценивание параметра может привести к выигрышу и в минимаксной постановке.[1]

### Литература

[1] Липцер Р.Ш., Ширяев А.Н. *Статистика случайных процессов*, Москва, Изд-во «Наука», 1990.

**Горбунов Александр Константинович** – д-р физ.-мат. наук, заведующий кафедрой "Физика" КФ МГТУ им. Н.Э. Баумана. E-mail: kf\_MGTU\_FIZ@mail.ru.

**Корабельникова Юлия Викторовна** – студент КФ МГТУ им. Н.Э. Баумана. E-mail: j.strify2012@yandex.ru.

Д.И. Дрожняк, А.К. Горбунов

**О ПРИМЕНЕНИИ МАТРИЧНЫХ ПРОИЗВОДЯЩИХ  
ФУНКЦИЙ К ОЦЕНКЕ ВЕРНОСТИ ПЕРЕДАЧИ  
ИНФОРМАЦИИ**

КФ МГТУ им. Н.Э. Баумана, Калуга, 248000, Россия

При расчётах показателей верности передачи информации по каналам, модель источника ошибок в которых описывается на основе цепей Маркова, явное выражение рассматриваемых распределений обычно имеет довольно громоздкий вид. Непосредственные расчёты обычно удобнее вести на основе матричных производящих функций, которые довольно просто позволяют получать рекуррентные, приближенные и асимптотические формулы. Покажем это путём расчёта распределения времени передачи сообщения в системе связи с переспросом и возвращением.

В этой системе по каналам обоих направлений передаются комбинации длины  $n$ , каждая из которых содержит сигнал обратной связи – подтверждение или переспрос (для кодирования сигнала обратной связи могут использоваться специальные позиции комбинации, либо сигналом переспроса – некодовой комбинации). Комбинации, в которых имеется сигнал подтверждения, содержат также информацию, защищённую кодом с обнаружением ошибок. Комбинации, в которых имеется сигнал переспроса, другой информации не содержат. Приём время передачи комбинации длины  $n$  за единицу. При получении комбинации с переспросом, либо при обнаружении ошибок, эта и  $M-1$  последующих комбинаций стираются, а по обратному каналу посылается комбинация с переспросом и продолжается передача информации с возвращением на  $M-1$  комбинаций.

Если же в принимаемой комбинации содержится сигнал подтверждения, то по обратному каналу передаётся очередная комбинация с сигналом подтверждения.

По этой системе передаются сообщения, кодируемые в  $K$  комбинаций. Если в сообщении обнаружены ошибки, то время  $L$ , необходимое для его передачи при отсутствии переспросов, увеличивается на величину  $\gamma M$ , где  $\gamma$  – случайная величина, равная числу переспросов комбинаций рассматриваемого сообщения, пока все они будут приняты без обнаруженных ошибок. Наша цель – найти распределение  $p(\gamma)$  вероятностей того, что время передачи сообщения равно  $L + \gamma M = T_\gamma$ .

В настоящей работе расчёты ведутся методом матричных производящих функций по модели источника ошибок. Согласно которой состояния

источника ошибок в прямом и обратном каналах образуют стационарную цепь Маркова с матрицей переходных вероятностей  $P$  и матрицами  $\varepsilon_m = \text{diag} \{ \varepsilon_{im} \}$ ,  $m = 1, 2$  условных вероятностей ошибок в прямом ( $m = 1$ ) и обратном ( $m = 2$ ) каналах.

Обозначим через  $G$  матрицу,  $(i, j)$ -й элемент которой равен вероятности того, что цепь Маркова перейдет из состояния  $j$  на позиции, предшествующей передаче комбинации, в состояние  $j$  на последней позиции этой комбинации и при этом в комбинации прямого и обратного каналов ошибки не обнаружены. Справедлива оценка

$$G \approx \prod_{m=1}^2 \left\{ \mathfrak{R}_{mm}(0) + [P^n - \mathfrak{R}_{mm}(t \langle d_m \rangle)] 2^{-r_m} \right\}, \quad (1)$$

где  $r_m$  - число проверочных символов,  $d_m$  - кодовое расстояние кода, используемого в  $m$ -м канале,

$$\mathfrak{R}_{mm}(t \langle d \rangle) = \sum_{t=0}^{d_m-1} \mathfrak{R}_{mm}(t), \quad (2)$$

матрицы  $\mathfrak{R}_{mm}(t)$  имеют производящую функцию

$$\Phi_{mm}(z) = \sum_{t=0}^n \mathfrak{R}_{mm}(t) z^t = (A_m + B_m z)^n, \quad (3)$$

где  $A_m = P(E - \varepsilon_m)^{t=0}$ ,  $B_m = P \varepsilon_m$ .

Из предыдущей формулы следует, что матрицы  $\mathfrak{R}_{mm}(t)$  удовлетворяют соотношениям

$$\mathfrak{R}_{mm}(t) = \sum_{t_1} \mathfrak{R}_{mm_1}(t_1) \mathfrak{R}_{m, n-t_1}(t-t_1), \quad (4)$$

которые удобно использовать для расчётов на ЭВМ.

Если матрицы  $A_1, A_2$  примитивные, то при  $n \rightarrow \infty$  справедливы асимптотические формулы

$$\mathfrak{R}_{mm}(t) \approx [-\square'_m(z_{m1})]^{-t-1} C_m(z_{m1}) [B_m C_m(z_{m1})]^t z_{m1}^{-n-1}, \quad (5)$$

где  $z_{m1}$  - наименьший по модулю корень многочлена

$$\square_m(z) = \det(E - z A_m), \quad C_m(z) - \text{матрица, присоединенная к } E - A_m z.$$

Обозначим через  $\mathfrak{R}(\gamma, k)$  матричную вероятность того, что время передачи сообщения из  $K$  блоков равно  $T_\gamma$ , т.е. матрицу,  $(i, j)$ -й элемент которой представляет собой вероятность перехода цепи Маркова из состояния на позиции  $t_0$ , предшествующей передаче рассматриваемого сообщения в состояние  $j$  на позиции  $nT_\gamma + t_0$  и при этом время передачи сообщения равно  $T_\gamma$ .

Можно показать, что матрицы  $\mathfrak{R}(\gamma, K)$  имеют производящую функцию вида:

$$Y(z) = \sum_{\gamma=0}^{\infty} \mathfrak{R}(\gamma, k) z^\gamma = \left[ (E - G R^{m-1} z)^{-1} H \right]^k, \quad (6)$$

где  $R = P^n, H = R - G$ . Из этой формулы следует соотношения

$$\mathfrak{R}(\gamma, K) = \sum_{\gamma_1} \mathfrak{R}(\gamma_1, K_1) \mathfrak{R}(\gamma - \gamma_1, K - K_1)$$

и, в случае когда матрица  $G$  примитивная, получаем асимптотические оценки

$$\mathfrak{R}(\gamma, K) \approx [-\square'(z_1)]^{-K} [B(z_1)H]^K \frac{\gamma^{K-1}}{(K-1)!} Z_1^{-\gamma}, \quad (7)$$

где  $z_1$  - наименьший по модулю корень многочлена

$$\square(z) = \det(E - Gz), \quad B(z) - \text{матрица, присоединения к } E - Gz.$$

Интересующее нас распределение  $p(\gamma)$  вероятностей того, что время передачи сообщения составит  $T_\gamma$  определяется по формуле

$$p(\gamma) = \mathfrak{R}_0 \mathfrak{R}(\gamma, K) I, \quad (8)$$

где  $\mathfrak{R}_0$  - матрица-строка начальных вероятностей,  $I$  - матрица-столбец из единиц.

В заключение отметим, что предлагаемые методы расчёта и найденные выше матрицы могут быть использованы для оценки многих распределений, характеризующих верность передачи информации по каналам, модель источника ошибок в которых описывается на основе цепей Маркова.

Например, вероятность того, что в смежных блоках длины  $n_1, n_2, \dots, n_\gamma$  первого канала возникает  $t_1, t_2, \dots, t_\gamma$  ошибок, может быть найдена по формуле

$$P_{n_1 n_2 \dots n_\gamma}(t_1, t_2, \dots, t_\gamma) = \mathfrak{R}_0 \mathfrak{R}_{1n_1}(t_1) \dots \mathfrak{R}_{1n_\gamma}(t_\gamma) I, \quad (9)$$

где матрицы  $\mathfrak{R}_{1n}(t), \mathfrak{R}_0, I$  определены выше.

### Список литературы

1. Галлагер Р.Г. *Теория информации и надежная связь*. Москва, Мир, 1990

**Горбунов Александр Константинович** – д-р физ.-мат. наук, заведующий кафедрой "Физика" КФ МГТУ им. Н.Э. Баумана. E-mail: kf\_MGTU\_FIZ@mail.ru.

**Дрожняк Денис Игоревич** – студент КФ МГТУ им. Н.Э. Баумана. E-mail: ZhannaD1970@mail.ru.



## О СЛОЖНОСТИ ФРАГМЕНТНОГО ПРЕДСТАВЛЕНИЯ ЦИФРОВЫХ МАССИВОВ

КФ МГТУ им. Н.Э. Баумана, Калуга, 248000, Россия

Актуальной задачей, возникающей при создании быстродействующих цифровых систем обработки данных, является формирование сжатых структурированных представлений информационных массивов. Современный подход к решению задачи представления многомерных массивов основан на их сегментации с помощью разбиения на однородные области и упорядочения сегментов в иерархическую структуру, удобную для последующего быстрого анализа.

В настоящей работе исследуются представления кубических цифровых массивов, образованные их разбиениями на однородные кубические фрагменты из одинаковых элементов. Вычисление среднего числа однородных фрагментов при различных способах разбиения массивов составляет предмет исследования. Формализация задачи требует введения следующих определений и понятий.

Пусть  $X_n^N$ -множество всевозможных  $n$ -мерных кубов  $X_n^N \in X_n^N$ , содержащих  $N^n$  элементов из  $M$ -ичного алфавита  $A_M$ . На множестве  $X_n^N$  заданы :функция распределения  $P_\theta(x_n^N)$  с параметром  $\theta \in \Theta$  и мера сложности  $g_\lambda(x_n^N)$  представления массива  $x_n^N$ , которая измеряет количество однородных фрагментов в  $x_n^N$ , формируемых на разбиении  $\lambda \in \Lambda$ , и принимает целочисленные значения от 1 до  $N^n$ .

Множество  $\Theta$  и  $\Lambda$  определяют соответственно класс рассматриваемых массивов (источников сообщений) и класс исследуемых представлений (способов разбиения). Множеству сообщений, порождаемых источником  $\theta \in \Theta$  и подвергаемых разбиению  $\lambda \in \Lambda$ , соответствует среднее число фрагментов в массиве (в пересчёте на элемент), равное

$$Q_N^n(\theta, \lambda) = \frac{1}{N^n} \sum_{x_n^N} q_\lambda(x_n^N) P_\theta(x_n^N), \quad (1)$$

которое будем называть сложностью представления массивов. Очевидно, что в классе  $\Lambda$  существует минимальное разбиение со сложностью

$$Q_N^n(\theta, \Lambda) = \inf_{\lambda} Q_N^n(\theta, \lambda), \quad (2)$$

Тогда, если  $Q_N^n(\theta, \Lambda)$  не возрастает с увеличением  $N$  и имеет предел, то

$$G^n(\theta, \Lambda) = \lim_{N \rightarrow \infty} Q_N^n(\theta, \Lambda), \quad (3)$$

будем называть сложностью источника  $\theta \in \Theta$  в классе представлений  $\Lambda$ .

Задача состоит в вычислении для изотропного бернуллиевского источника следующих характеристик: сложности вида (3); верхней границы сложности минимального представления (2) и верхней границы сложности (1), соответствующей древовидному представлению, в котором фрагменты разбиения принадлежат концевым узлам дерева и могут содержать  $2^{nk}$  элементов, где  $k=0,1,\dots, \log_2 N$  - номера уровней дерева, а  $2^n$  - число ветвей, исходящих из каждого неконцевого узла. Рассматриваемые представления не зависят от распределения источника и, следовательно, универсальны, а их анализ для бернуллиевской модели позволяет оценить сверху сложность фрагментных представлений в более широком классе источников памяти.

Вычисление сложности фрагментных представлений в терминах соотношений (1)-(3) аналогично получению нижней и верхней границ для скорости кодирования источников сообщения. Поэтому найденные границы сложности минимального представления можно сформулировать в виде теоремы, схожей с теоремой кодирования источника.

Теорема. Для  $M$ -ичного изотропного бернуллиевского источника  $\theta \in \Theta$ , порождающего  $n$ -мерные кубические массивы объёма  $N^n$ , в классе их разбиений  $\Lambda$  на кубические фрагменты существует представление с минимальной сложностью  $Q_N^n(\theta, \Lambda)$  такой, что

$$[G(\theta, \Lambda)]^n \langle Q_N^n(\theta, \Lambda) \rangle \left[ G(\theta, \Lambda) + (1 - G(\theta, \Lambda)) \frac{1}{N} \right]^n, \quad (4)$$

где  $G(\theta, \Lambda) = \sum_{k=1}^M \theta_k (1 - \theta_k)$ , а  $\theta = \theta_1, \theta_2, \dots, \theta_M$  - вектор вероятностей символов алфавита.

Нижняя граница сложности получена усреднением объёмов всевозможных кубических фрагментов, а верхняя - с использованием рекуррентных соотношений для числа фрагментов в разбиениях последовательностей длины  $N$  и  $N+1$ , функция  $G(\theta, \Lambda)$  параметров  $\theta_1, \theta_2, \dots, \theta_M$  является аналогом энтропии  $H(\theta) = -\sum_{k=1}^M \theta_k \log_2 \theta_k$  бернуллиевского источника, порождающего последовательности. Поскольку  $0 \leq G(\theta, \Lambda) \leq \frac{M-1}{M}$ , то второй член в верхней границе всегда положителен и убывает с ростом  $N$ . Следовательно, верхняя граница устанавливает существование минимального представления со сложностью, стремящейся с увеличением линейного размера массива  $N$  к величине  $G^n(\theta, \Lambda)$ , а нижняя граница утверждает невозможность сделать сложность такого представления меньше, чем  $G^n(\theta, \Lambda)$ , ни при каком  $N$ . Асимптотическое совпадение верхней и нижней границ определяет сложность  $n$ -мерного изотропного бернуллиевского источника, равную  $G^n(\theta, \Lambda)$ .

Если представление строится с использованием древовидного разбиения  $\lambda^* \in \Lambda$  массивов, то объёмы кубических фрагментов являются целыми степенями числа  $2^n$ . Такое представление обладает большей избыточностью, чем построенное на минимальном разбиении, и соответствующая ему верхняя граница сложности должна быть выше указанной в теореме. Вычисление сложности древовидного представления бернуллиевских последовательностей длины  $N$  приводит к

$$Q_N(\theta, \lambda^*) = 1 - \sum_{i=1}^{\log_2 N} \frac{1}{2^i} \sum_{i=1}^M \theta_i^{2^i}, \quad (5)$$

где  $N = 2^k, k = 1, 2, \dots$ . Если источник порождает  $n$ -мерные изотропные массивы, то сложность их представления на основе древовидной схемы разбиения не превосходит  $n$ -ой степени правой части (5).

Полезно привести сравнительные оценки сложностей  $Q_N(\theta, \Lambda)$  и  $Q_N(\theta, \lambda^*)$  исследуемых представлений для последовательностей, порождаемых симметричным источником с параметрами  $\theta_i = 1/M, i = 1, \overline{M}$ .

В этом случае различие указанных сложностей максимально и при  $N \rightarrow \infty$  удовлетворяет оценке

$$Q_\infty\left(\frac{1}{M}, \lambda^*\right) - Q_\infty\left(\frac{1}{M}, \Lambda\right) \geq \frac{M^2 - 1}{(2M^2 - 1)M}, \quad (6)$$

Из (6) следует, что сложность древовидного представления даже при больших размерах массивов отличается от минимально возможной не менее, чем на константу, определяемую размером алфавита.

Для несимметричных источников асимптотическое отличие таких сложностей меньше и стремится к нулю, когда вероятности любых  $M - 1$  символов алфавита становятся сколь угодно малыми.

Древовидное представление позволяет уменьшить объём анализируемых данных и, следовательно, время анализа массива в среднем в  $1/Q_N^*(\theta, \lambda^*)$  раз при использовании мелких фрагментов, расположенных на его нижних уровнях, увеличивает этот эффект, правда, ценой некоторой потери точности.

### Список литературы

1. Витерби Л.Д., Омура Дж.К. *Принципы цифровой связи и кодирования*. Москва, Радио и связь, 1992, 585 с.

**Горбунов Александр Константинович** – д-р физ.-мат. наук, заведующий кафедрой "Физика" КФ МГТУ им. Н.Э. Баумана. E-mail: kf\_MGTU\_FIZ@mail.ru.

**Дрожняк Денис Игоревич** – студент КФ МГТУ им. Н.Э. Баумана. E-mail: ZhannaD1970@mail.ru.

## О СТОИМОСТИ ПЕРЕДАЧИ СООБЩЕНИЙ ПО КАНАЛУ БЕЗ ШУМА

КФ МГТУ им. Н.Э. Баумана, Калуга, 248000, Россия

*Рассматривается кодирование произвольных источников сообщений. Источник – любой дискретный вероятностный процесс. Кодирование – измеримое отображение множества входных последовательностей во множество выходных. Определяется стоимость кодирования. Выполняется основная теорема К. Шеннона для каналов без шума. Устанавливается условие взаимной однозначности кодирования.*

Обозначения. Пусть  $\alpha$  – некоторый алфавит, тогда  $\alpha^*$  и  $\alpha^\infty$  – множества всех слов и всех последовательностей в  $\alpha$ ,  $|A|$  – число букв в  $A \in \alpha^*$ . Если  $A_1 = a_1, \dots, a_k \in \alpha^*$  и  $A_2 = a_1', a_2', \dots \in \alpha^* \cup \alpha^\infty$ , то  $A_1 * A_2 = a_1 \dots a_k a_1' a_2' \in \alpha^* \cup \alpha^\infty$ . Слово  $A_1 \in \alpha^*$  есть префикс  $A_2 \in \alpha^* \cup \alpha^\infty$ , что записывается  $A_1 < A_2$ , если  $\exists A_3 \in \alpha^* \cup \alpha^\infty (A_2 = A_1 * A_3)$ . Если  $A \in \alpha^*$  и  $V \subset \alpha^* \cup \alpha^\infty$ , то  $A * V = \bigcup_{A_1 \in V} A * A_1$  и  $A < V$  равносильно  $\forall A_1 \in V (A < A_1)$ . Если  $V$  – некоторое множество, то  $\|V\|$  – его мощность.

Пусть далее  $\alpha$  – конечный или счетный **входной** алфавит,  $\beta$  – конечный выходной алфавит,  $\sigma(\alpha)$  некоторая  $\sigma$  – алгебра подмножеств  $\alpha^\infty$ , содержащая все конечномерные цилиндры,  $\sigma_0(\beta)$  –  $\sigma$  – алгебра подмножеств  $\beta^\infty$ , порожденная всеми конечномерными цилиндрами,  $\rho$  – вероятностная мера на  $\sigma(\alpha)$ .

Источник сообщений по определению есть вероятностное пространство  $\{\alpha^\infty, \sigma(\alpha), \rho\}$ . Мере  $\rho$  множества  $A * \alpha^\infty$ , где  $A \in \alpha^*$ , обозначим через  $\rho(A)$  и назовем вероятностью слова  $A$ . Верхней и нижней энтропиями источника назовем 
$$\bar{H} = \overline{\lim}_{n \rightarrow \infty} -\frac{1}{n} \sum_{|A|=n} \rho(A) \ln \rho(A) \quad \text{и}$$
 
$$\underline{H} = \underline{\lim}_{n \rightarrow \infty} -\frac{1}{n} \sum_{|A|=n} \rho(A) \ln \rho(A) \quad (\bar{H} \text{ и } \underline{H} \text{ определены для любого источника}).$$

Отображения  $\varphi: \alpha^\infty \rightarrow \beta^\infty$  назовем кодированием, если оно измеримо относительно  $\sigma(\alpha)$  и  $\sigma_0(\beta)$ , то есть  $\forall V \in \sigma_0(\beta) (\varphi^{-1}(V) \in \sigma(\alpha))$ . Отображения, совпадающие п.в. (по мере  $\rho$ ) эквивалентны. Пусть  $\sigma(\beta)$  –  $\sigma$  – алгебра, состоящая из множеств  $V$ , для которых  $\varphi^{-1}(V) \in \sigma(\alpha)$ . Кодирование переносит меру  $\rho$  с  $\sigma(\alpha)$  на  $\sigma(\beta)$ . По определению  $\forall V \in \sigma(\beta) (\rho(V) = \rho(\varphi^{-1}(V)))$ . Фиксируем произвольно источник и кодирование.

Естественно считать, что префикс  $A$  некоторого сообщения  $A'$  декодируется по префиксу  $B$  последовательности  $\varphi(A')$ , если  $A < \varphi^{-1}(B * \beta^\infty)$  п.в.. Для любого  $n = 1, 2, \dots$  и любой  $B' \in \varphi(\alpha^\infty)$  положим  $t(n, B')$ , равным минимальной длине префикса последовательности  $B'$ , по которому можно декодировать некоторое слово длины  $n$ , если такого префикса нет, то  $t(n, B') = +\infty$ .

Формально,

$$t(n, B') \begin{cases} \min_{B \in V(n, B')} |B|, & \text{если } V(n, B') \neq \emptyset \\ +\infty, & \text{если } V(n, B') = \emptyset, \end{cases}$$

где  $V(n, B') =$

$$\{B \in \beta^*: B < B' \& \exists A \ni \alpha^* (|A| = n \& A < \varphi^{-1}(B * \beta^\infty) \text{ п. в.})\}$$

Лемма I. При любом натуральном  $n$  функция  $t(n)$  определена почти всюду на  $\beta^\infty$  и измерима относительно  $\sigma(\beta)$ .

Среднее число букв алфавита  $\beta$ , необходимых для кодирования первых  $n$  букв сообщения есть  $C(n) = \int_{\beta^\infty} t(n) dp$ . Верхней и нижней стоимостями кодирования назовем  $\bar{C} = \overline{\lim}_{n \rightarrow \infty} \frac{1}{n} C(n)$  и  $\underline{C} = \underline{\lim}_{n \rightarrow \infty} \frac{1}{n} C(n)$ , которые определены для любого кодирования.

Основная теорема для каналов без шума.

А. При любых источнике и кодировании  $\bar{C} \geq \bar{H} * \ln^{-1} \|\beta\|$ ,  
 $\underline{C} \geq \underline{H} * \ln^{-1} \|\beta\|$ .

В. Для любого источника существует кодирование, для которого  $\bar{C} = \bar{H} * \ln^{-1} \|\beta\|$  и  $\underline{C} = \underline{H} * \ln^{-1} \|\beta\|$ .

Замечание. В отличие от формулировок других авторов дешифруемость не требуется ни в "А", ни в "В".

Теорема I. Если  $\underline{C} < \infty$ , то отображение  $\varphi$  почти всюду взаимно однозначно.

Теорема II. Если источник бернуллеватский,  $\|\alpha\| < \infty$ , кодирование побуквенное и дешифруемое, то  $\bar{C} = \underline{C} < \infty$  и равны стоимости.

Следствие. Если выполнены условия теоремы 2, то  $p(\{A \in \alpha^\infty: \|\varphi^{-1}(\varphi(A))\| > 1\}) = 0$ .

Теорема III. Если источник бернуллиевский, вероятности всех букв положительны,  $\|\alpha\| < \infty$  и кодирование побуквенное, то  $\bar{C} = \underline{C} < \infty$  тогда и только тогда когда кодирование дешифруемо.

Теоремы II, III обобщаются на случай конечноавтоматного кодирования Марковских источников произвольного конечного порядка в предположении, что вероятности всех слов положительны, автомат сильно связный и кодирование дешифруемо.

### Список литературы

[1] К. Шеннон *Математическая теория связи. Работы по теории информации и кибернетике*. ИЛ., М., 1993.

**Горбунов Александр Константинович** – д-р физ.-мат. наук, заведующий кафедрой "Физика" КФ МГТУ им. Н.Э. Баумана. E-mail: kf\_MGTU\_FIZ@mail.ru.

**Прокофьев Михаил Львович** – студент КФ МГТУ им. Н.Э. Баумана. E-mail: shinoda25px@yandex.ru.

**ОБНАРУЖЕНИЕ СИГНАЛОВ НА ФОНЕ ПОМЕХ.**

Прямым способом выводятся общие алгоритмы для отношения правдоподобия в задаче обнаружения немарковских сигналов на фоне немарковских помех при наличии шума с независимыми значениями. Получены алгоритмы для случая слабых сигналов. Выясняются свойства входных блоков обнаружителей.

1. Рассматривается вначале случай дискретного времени, когда наблюдаемый процесс равен

$$y_k = \Theta S(x_k, t_k) + \eta_k + \xi_k, \quad \Theta = 0, 1; \quad k = 0, 1, \dots, n.$$

Параметр  $\{x_k\}$  полезного сигнала  $S(x_k, t_k)$  ( $S$  – известная функция и помеха  $\{\eta_k\}$  являются произвольными немарковскими случайными последовательностями. Кроме коррелированной помехи  $\{\eta_k\}$  на сигнал воздействует шум  $\{\xi_k\}$  – случайный процесс с независимыми значениями, описываемый плотностью вероятностей  $\rho$ . Предполагается, что шум  $\{\xi_k\}$  статически не зависит от процессов  $\{x_k\}$   $\{\eta_k\}$ . Между собой сигнал и помеха могут быть статически зависимыми. Предполагается также, что

$$M \varphi_1(x_k, \eta_k) < \infty, \quad M \varphi_0(\eta_k) < \infty, \quad k = 0, 1, \dots, n, \quad \text{где } \varphi_\Theta = \rho[y_k - \Theta S(x_k, t_k) + \eta_k].$$

При этих условиях получаем для отношения правдоподобия

$$\Lambda = \frac{P(y^k_0 / \Theta = 1)}{P(y^k_0 / \Theta = 0)} \quad \text{рекуррентный алгоритм.} \quad \Lambda_k = \frac{\Lambda_1 M_1 \rho[y_k - S(x_k, t_k) - \eta_k]}{M_0 \rho[y_k - \eta_k]}, \quad k = 1, \dots, n, \quad (1)$$

$$\Lambda_0 = \frac{P(y^k_0 / \Theta = 1)}{P(y^k_0 / \Theta = 0)}$$

где  $M_1$  и  $M_0$  – условные математические ожидания:

$$M_{\underline{\Theta}}(\cdot) \equiv \begin{cases} \iint (\cdot) P(x_k, \eta_k / y^{k-1}_0, \Theta = 1) dx_k d\eta_k \\ \int (\cdot) P(\eta_k / y^{k-1}_0, \Theta = 0) d\eta_k. \end{cases}$$

2. Рассматривая случай слабых детерминированных сигналов ( $S \rightarrow 0$ ), из (1) в асимптотике для  $Z_k = \ln \Lambda_k$  получим:

$$Z_k = Z_{k-1} + S(t_k) f[y_k - \eta_{0k} \wedge y_0^{k-1}], \quad (2)$$

где обозначено

$$f(x) = - \frac{d}{dx} \ln \rho(x), \quad \hat{\eta}_{0k}(y_0^{k-1}) = M(\eta_k / y_0^{k-1}, \underline{\Theta} = 0)$$

Используя свойства условного математического ожидания, можно показать, что при  $y_i \equiv \eta_i + \xi_i$ ,  $M \xi_i = 0$ ,  $i = 0, 1, \dots$ , справедливо соотношение:

$$M[y_i - \eta_{0i}(y^{i-1}_0)] [y_i - \eta_{0i}(y^{j-1}_0)] = 0 \quad \text{для всех } i \neq j.$$

Таким образом, входное устройство обнаружителя слабых сигналов, вычисляющее разность  $y_k - \eta_{0k}(y_0^{k-1})$ , представляет собой декоррелирующий фильтр. После него следует безынерционный нелинейный преобразователь  $f(x)$ , а затем обычный корреляционный приемник.

3. При непрерывном времени на параметр  $\{x_t\}$  сигнала  $S(x_t, t)$  и помеху  $\{\eta_t\}$  никаких особых ограничений не накладывается (как и при дискретном времени). Они могут быть немарковскими и негауссовскими процессами, причем статически зависимыми между собой. Что же касается шума  $\{\xi_t\}$ , то здесь он предполагается белым гауссовским шумом (спектральная плотность равна  $N$ ).

Конкретизируя  $\rho$  в (1) и осуществляя затем предельный переход, получим алгоритм для логарифма отношения правдоподобия  $Z_T$ ,  $0 \leq t \leq T$ .

$$Z_T = \frac{1}{N} \int_0^T (S_t + \eta_{1t} - \hat{\eta}_{0t}) y_t dt - \frac{1}{2N} \int_0^T [(S_t - \eta_{1t})^2 - \hat{\eta}_{0t}^2] dt, \quad (3)$$

где

$$\hat{\xi}_t = M[S(x_t, t) | y_0^t, \Theta=1], \quad \hat{\eta}_{i,t} = M[\eta_t | y_0^t, \Theta=1], \quad i=0,1,$$

а стохастический интеграл понимается в смысле что.

4. В случае слабых детерминированных сигналов на (3) (или на (2) после конкретизации  $\rho$ ) вытекает алгоритм

$$Z_T = \frac{1}{N} \int_0^T S(t) (y_t - \hat{\eta}_{0t}) dt,$$

определяющий структуру асимптотически оптимального обнаружителя. При несущественных с точки зрения практики ограничениях на произвольную помеху  $\{\eta_t\}$

$$\int_0^T M(\eta_t) dt < \infty$$

процесс  $\tilde{\xi}_t = y_t - \hat{\eta}_{0t}$  (при  $y_t = \eta_t + \xi_t$ ) является белым гауссовским шумом. Таким образом, рассматриваемый обнаружитель представляет собой корреляционный приемник, на входе которого стоит обеляющий фильтр.

5. Процедура обеления помехи, наличие на входе устройства обнаружения обеляющего фильтра имеют место и без требования малости сигнала. Рассмотрим вначале случай обнаружения детерминированного сигнала  $S(t)$  в гауссовской помехе (с произвольной корреляционной функцией) при наличии белого шума. В этом случае

$$\eta_t(y_0^t) = \eta_{0t}(y_0^t - s_0^t) = \eta_{0t}(y_0^t) - \eta_{0t}(s_0^t) \quad (4)$$

Подставляя (4) и (3), получим алгоритм

$$Z_T = \frac{1}{N} \int_0^T S_t y_t dt - \frac{1}{2N} \int_0^T S_t^2 dt, \quad (5)$$

$$S_t = S(t) - \eta_{0t}(S_0^t), \quad y_t = y_t - \eta_{0t}(y_0^t),$$

определяющий оптимальный обнаружитель детерминированного сигнала  $S(t)$  в белом шуме.

6. Преобразуя (3) применительно к общей задаче, приходим к формуле (5), при этом функционал  $S_t$  будет уже случайным

$$S_t(y_o^t) = S_t(y_o^t) + \eta_{1t}(y_o^t) - \eta_{0t}(y_o^t), \quad y_t = y_t - \eta_{0t}(y_o^t).$$

7. Необходимость использования декоррелирующих и обеляющих фильтров и сама структура обнаружителей непосредственно следует из рассматриваемого метода, причем привлекать искусственные приемы здесь не потребовалось. В частности, не понадобилось искусственно вводить в схему обработки сигналов обеляющий фильтр.

#### **Литература:**

Липцер Р.Ш. , Ширяев А.Н. *Статистика случайных процессов*. Москва, Изд-во Наука, 1974, 658 с.

**Горбунов Александр Константинович** – д-р физ.-мат. наук, заведующий кафедрой "Физика" КФ МГТУ им. Н.Э. Баумана. E-mail: kf\_MGTU\_FIZ@mail.ru.

**Жучкова Анастасия Дмитриевна** – студент КФ МГТУ им. Н.Э. Баумана. E-mail: frannyglass2014@yandex.ru.



**ОБНАРУЖЕНИЕ СИГНАЛОВ НА ФОНЕ ПОМЕХ.**

КФ МГТУ им. Н.Э. Баумана, Калуга, 248000, Россия

Теория асимптотически оптимальных алгоритмов обнаружения на фоне помех распространяется на случай, когда выборочные данные квантованны. Рассматривается асимптотическая мощность и питменовская эффективность таких алгоритмов. Определяется два критерия оптимальности выбора порогов квантования, для которых приводятся соответствующие уравнения.

I. Пусть  $\bar{x}_n = (x_1, \dots, x_i, \dots, x_n)$  - выборка с плотностью  $f(\bar{x}_n/\lambda\bar{S}_n) = \prod_{i=1}^n f(x_i/\lambda S_i)$ , где  $x \in R_1, S_i, i = \overline{1, n}$ , - компоненты вектора сигнала  $\bar{S}_n$  и  $\lambda$  - амплитуда сигнала. Задача состоит в построении асимптотически оптимального (А.О.) алгоритма для проверки гипотезы  $H_0: \lambda = 0$  против гипотезы  $H_1: \lambda > 0$  по квантованным наблюдениям, т.е. когда выборка имеет вид  $(E_{k_1}, \dots, E_{k_i}, \dots, E_{k_n})$ , где  $K_i = \sum_{k=0}^m k \chi_k(X_i)$  ( $\chi_k(X_i)$  - индикатор множества  $E_k$ ) и  $E_k = [Z_k, Z_{k+1})$ ;  $\bigcup_{k=0}^m E_k = R_1$  и  $E_k \cap E_j = \emptyset$  для всех  $k \neq j, k, j = \overline{0, m}$ .

Разбиение  $\{E_k\}, k = \overline{0, m}$ , определяется вектором  $\vec{Z}_m \in G_m$ , где  $G_m = \{\vec{Z}_m: Z_0 \leq Z_1 \leq \dots \leq Z_m \leq Z_{m+1}\}, Z_0 = -\infty$  и  $Z_{m+1} = +\infty$

Метод построения А.О. алгоритмов основан на асимптотическом разложении лагарифма отношения правдоподобия для задачи «близких» гипотез, т.е. когда  $\lambda = \gamma/\sqrt{n}$ , где  $\gamma \in [0, l]$  и  $l$  - любое число.

II. Скажем, что выполнено условие А, если

$$\max_{1 \leq i \leq n} |S_i| \leq K \leq \infty; \lim_{n \rightarrow \infty} \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n S_i^2 = S^2 < \infty; \lim_{n \rightarrow \infty} \frac{\sum_{i=1}^n S_i^2}{\max_{1 \leq i \leq n} S_i^2} = \infty;$$

и условие В, если в некоторой окрестности  $W$  точки  $\theta = 0$ :

$$1) \quad f(x/\theta) > 0 \text{ для каждого } \theta \in W \text{ и } x \in R_1,$$

$$2) \quad f(x/\theta) \text{ дважды дифференцируема по } \theta \text{ для каждого } \theta \in W \text{ и}$$

$x \in R_1$ , причем

$$\left| \frac{\partial^2}{\partial \theta^2} f(x/\theta) \right| < H(x), \theta \in W, \text{ и } \int_{-\infty}^{+\infty} H(x) dx < \infty,$$

$$3) \quad \frac{\partial}{\partial \theta} \int_{Z_k}^{Z_{k+1}} f\left(\frac{x}{\theta}\right) dx = \int_{Z_k}^{Z_{k+1}} \frac{\partial}{\partial \theta} f\left(\frac{x}{\theta}\right) dx$$

$$\text{Для каждого } \vec{Z}_m \in G_m \left( \frac{\partial}{\partial \theta} f\left(\frac{x}{\theta}\right) \Big|_{\theta=0} = \frac{\partial}{\partial \theta} f\left(\frac{x}{\theta}\right) \right),$$

$$4) \quad 0 \leq I(0) < \infty, \text{ где } I(0) \text{ - информация Фишера в точке } \theta = 0$$

Введем следующие обозначения:  $I(\vec{Z}_m; 0)$  - информация Фишера в точке  $\theta = 0$ , когда выборочные значения квантованны;  $M_0\{\cdot\}$  и  $M_{\frac{\gamma}{\sqrt{n}}}\{\cdot\}$  - математическое ожидание при гипотезах  $H_0$  и  $H_1$  соответственно и

$$\frac{\partial}{\partial \theta} \ln f\left(\frac{x}{\theta}\right) = g(x).$$

**Лемма 1.** В условии В  $I(0) - I(\vec{Z}_m; 0) \geq 0$  для всех  $\vec{Z}_m \in G_m$  с равенством тогда и только тогда, когда  $g(x) = C_k$  для всех  $x \in E_k, k = \bar{0}, m$ .

**Теорема 1.** Если  $\vec{Z}_m$  – внутренняя точка  $G_m$  и выполнены условия А, В, то логарифм отношения правдоподобия  $L(\vec{x}_n; \gamma \bar{S}_n / \sqrt{n})$  допускает следующие асимптотическое представление:

$$L(\vec{x}_n; \gamma \bar{S}_n / \sqrt{n}) = \frac{\gamma}{\sqrt{n}} \sum_{i=1}^n S_i \sum_{k=0}^m a_k \chi_k(X_i) - \frac{1}{2} \gamma^2 S^2 I(\vec{Z}_m; 0) + \alpha_n(\vec{x}_n; \gamma \bar{S}_n / \sqrt{n}),$$

где  $a_k = M_0\{g(X)/x \in E_k\}$  и  $\alpha_n(\vec{x}_n; \gamma \bar{S}_n / \sqrt{n}) \rightarrow 0$  по вероятности при  $n \rightarrow \infty$  при гипотезе  $H_0$ , так и при гипотезе  $H_1$  равномерно по  $\gamma \in [0, l]$ .

**Теорема 2.** В условиях теоремы 1 А.О. алгоритм асимптотического уровня значимости  $\alpha$  имеет вид:

$$\Phi_n^\alpha(\vec{Z}_m) = \begin{cases} 1, & \text{если } Y_n(\vec{x}_n) \geq K_{1-\alpha} S I^{1/2}(\vec{Z}_m; 0) \\ 0, & \text{если } Y_n(\vec{x}_n) < K_{1-\alpha} S I^{1/2}(\vec{Z}_m; 0) \end{cases},$$

Где  $K_{1-\alpha} = (1 - \alpha)$  – квантиль стандартного нормального распределения и  $Y_n(\vec{x}_n) = n^{-1/2} \sum_{i=1}^n S_i \sum_{k=0}^m a_k \chi_k(X_i)$ . **Следствие 2.1.** Асимптотическая мощность А.О. алгоритма  $\Phi_n^\alpha(\vec{Z}_m)$  равна

$$\lim_{n \rightarrow \infty} M\gamma / \sqrt{n} \{\Phi_n^\alpha(\vec{Z}_m)\} = 1 - \mathcal{F}(K_{1-\alpha} - \gamma S I^{1/2}(\vec{Z}_m; 0)), \quad (1)$$

Где  $\mathcal{F}(U)$  – функция стандартного нормального распределения. Питменовский коэффициент асимптотической относительной эффективности А.О. алгоритмов  $\Phi_n(\vec{Z}_m)$  и  $\Phi_n$  (А.О. алгоритм для неаквантованных наблюдений) равен

$$\rho(\{\Phi_n(\vec{Z}_m)\}; \{\Phi_n\}) = I(\vec{Z}_m; 0) / I(0) \quad (2)$$

Алгоритм  $\Phi_n(\vec{Z}_m)$  является равномерно асимптотически оптимальным, т.е.

$$\lim_{n \rightarrow \infty} \inf \gamma \leq e [M_{\gamma/\sqrt{n}}\{\Phi_n^\alpha(\vec{Z}_m)\} - M_{\gamma/\sqrt{n}}\{\Psi_n^\alpha(\vec{Z}_m)\}] \geq 0,$$

где  $\Psi_n^\alpha(\vec{Z}_m)$  – любой другой алгоритм асимптотического уровня значимости  $\alpha$  при разбиении  $\vec{Z}_m$ .

III. Согласно лемме 1, А.О. алгоритм  $\Phi_n(\vec{Z}_m)$ , вообще говоря, проигрывает как в асимптотической мощности, так и в питменовской эффективности А.О. алгоритму  $\Phi_n$ . При этом естественно возникает задача оптимального выбора порогов квантования.

**Определение 1.** При фиксированном  $m$  разбиение  $\vec{Z}_m^0$  называется оптимальным, если

$$I(\vec{Z}_m^0; 0) = \sup_{\vec{Z}_m \in G_m} I(\vec{Z}_m; 0).$$

**Теорема 3.** В условии В  $\vec{Z}_m^0$  существует и является внутренней точкой  $G_m$ .

**Следствие 3.1.** Оптимальное разбиение  $\vec{Z}_m^0$  удовлетворяет системе уравнений:

$$(a_k - a_{k-1})(a_k + a_{k-1} - 2g(Z_k)) = 0, k = \overline{1, m}, \quad (3)$$

и если  $g(x)$  – строго монотонная функция на  $R_1$ , то (3) эквивалентно системе уравнений:

$$a_k + a_{k-1} - 2g(Z_k) = 0, k = \overline{1, m}, \quad (4)$$

Можно указать класс распределений, для которых (3) – необходимое и достаточное условие максимума  $I(\vec{Z}_m; 0)$  и решение (3) единственно.

Необходимо заметить, что решение системы (3), равно как и (4), в подавляющем большинстве случаев возможно только численными методами. Поэтому представляет интерес построение разбиений  $\vec{Z}_m$  в некотором смысле близких к оптимальному.

Определение 2. Последовательность разбиений  $\{\vec{Z}_m^\omega\}$  называется асимптотически оптимальной, если

$$\lim_{m \rightarrow \infty} \frac{I(0) - I(\vec{Z}_m^\omega; 0)}{I(0) - I(\vec{Z}_m^0; 0)} = 1$$

При некоторых (не ограничительных с практической точки зрения) условиях  $\vec{Z}_m^\omega$  удовлетворяет системе уравнений:

$$\int_{-\infty}^{\vec{Z}_k^0} r(x) dx = \frac{k\tau}{m+1}; k = \overline{1, m}; r(x) = [(g'(x))^2 f(x/0)]^{1/3} \tau = \int_{-\infty}^{+2} r(x) dx,$$

и питменовский коэффициент асимптотической эффективности (2) для  $\vec{Z}_m^\omega$  определяется выражением

$$\rho(\{\Phi_n \vec{Z}_m^\omega\}; \{\Phi_n\}) = 1 - \frac{\tau^3}{12(m+1)^2 I(0)} + o\left(\frac{1}{m^2}\right).$$

Например, для распределений Рейса, т.е.

$$f\left(\frac{x}{\theta}, \sigma\right) = \frac{x}{\sigma^2} \exp\left\{-\frac{x^2 + \theta}{2\sigma^2}\right\} I_0\left(\frac{x\sqrt{\theta}}{\sigma^2}\right), x \geq 0, \sigma > 0,$$

Асимптотически оптимальное разбиение  $\vec{Z}_m^\omega$  имеет следующий вид:

$$\vec{Z}_m^\omega = \sigma \vec{t}_m^\omega; t_k^\omega = \sqrt{6 \ln \frac{m+1}{m-k+1}}, k = \overline{1, m}, t_0 = 0, t_m = 0, t_{m+1} = +\infty,$$

и

$$\rho(\{\Phi_n \vec{Z}_m^\omega\}; \{\Phi_n\}) = 1 - \frac{2.25}{(m+1)^2} + o\left(\frac{1}{m^2}\right).$$

### Литература:

Д.Сакрисон. *Лекции по теории связи*. М. «Мир», 1991.

**Горбунов Александр Константинович** – д-р физ.-мат. наук, заведующий кафедрой "Физика" КФ МГТУ им. Н.Э. Баумана. E-mail: kf\_MGTU\_FIZ@mail.ru.

**Шумакова Александра Олеговна** – студент КФ МГТУ им. Н.Э. Баумана. E-mail: Karamelka02.95@mail.ru.

А.К. Горбунов, В.Ю. Салова

## ПЕРЕДАЧА СИГНАЛОВ В УСЛОВИЯХ МАРКОВСКИХ ПОМЕХ

КФ МГТУ им. Н.Э. Баумана, Калуга, 248000, Россия

В работе решаются параметрические статистические задачи для общих марковских процессов. Находятся условия, при которых метод максимального правдоподобия дает оптимальное или асимптотически-оптимальное решение этих задач.

Рассмотрим одномерное стохастическое дифференциальное уравнение вида:

$$dX(t) = a(t, X(t); \alpha, \beta)dt + \sigma(t, X(t))d\omega(t) + \int_{|x| \leq 1} xq(dt, dx) + \int_{|x| > 1} xp(dt, dx), \quad X(0) = X_0, \quad (1)$$

где  $a(t, x; \alpha, \beta)$  и  $\sigma(t, x)$  – не случайные функции,  $x \in R, t \in [0, T]$ ,  $\omega(t)$  – стандартный винеровский процесс,  $p(dt, dx)$  – не зависящая от  $\omega(t)$  пуассоновская случайная мера с параметром  $\Pi(t, dx; \beta)dt$ ,  $q(dt, dx)$  – центрированная пуассоновская случайная мера,  $\alpha$  и  $\beta$  – неизвестные вещественные параметры из некоторого допустимого множества. Параметр  $\alpha$  будем интерпретировать как некоторую неизвестную характеристику системы, а  $\beta$  – как параметр скачкообразной составляющей случайных помех, оказывающих воздействие на работу системы.

Предположим, что для всех допустимых значений параметров  $\alpha$  и  $\beta$  существует единственное решение уравнения (1) и это решение  $X(t)$  доступно наблюдателю. По имеющейся реализации процесса  $X(t)$ ,  $t \in [0, T]$  требуется делать выводы о значениях параметров  $\alpha$  и  $\beta$ .

В докладе будет показано, что выводы, основанные на методе максимального правдоподобия (ММП), при определенных условиях будут асимптотически оптимальными, а в отдельных случаях оказываются эффективными, даже если они делаются на основании фиксированного отрезка траектории процесса  $X(t)$ .

Применение ММП опирается на формулы для плотностей мер, соответствующих марковским процессам, являющимися решениями уравнения вида (1). Пусть  $\ell^T = \ell^T(\alpha, \beta; X(t))$  – логарифмы плотности меры  $\mu_{\alpha, \beta}^T$ , соответствующей решению уравнения (1), относительно «опорной» меры  $\mu_0^T$ , соответствующей некоторому специально-подобранному марковскому процессу. Предположим, что  $\mu_{\alpha, \beta}^T \square \mu_0^T$  для всех допустимых  $\alpha$  и  $\beta$  и всех  $T > 0$  и  $\ell^T$  – дифференцируемая функция по  $\alpha$  и  $\beta$ . Оказывается, что информант  $(\partial \ell^T / \partial \alpha, \partial \ell^T / \partial \beta)$  представляет собой векторный стохастический интеграл по мартингалу, и важное для рассматриваемых статистических

задач его асимптотическое поведение ( $npuT \rightarrow \infty$ ) определяется поведением стохастических интегралов вида

$$b(t) = \int_0^T \int_R [\varphi(t, x)]^2 \Pi(t, dx) dt \rightarrow \infty, \quad (2)$$

$$[b(T)]^{-\frac{3}{2}} \int_0^T \int_R |\varphi(t, x)|^3 \Pi(t, dx) dt \rightarrow 0, \quad (3)$$

то случайная величина  $[b(T)]^{-\frac{1}{2}} J_\varphi^T$  асимптотически нормальна с параметрами  $(0, 1)$ .

Наложение в соответствии с утверждением 1 и результатами работы (3) условий на функции  $a(t, x; \alpha, \beta)$ ,  $\sigma(t, x)$ ,  $\Pi(t, A; \beta)$  обеспечивающих асимптотическую нормальность информанта, а также некоторых дополнительных условий, позволяет утверждать существование состоятельной оценки максимального правдоподобия (ОМП) неизвестного вектора  $(\alpha, \beta)$ , являющейся асимптотически нормальной и асимптотически эффективной. В этих условиях асимптотически оптимальным будет также основанный на «отношении правдоподобия» критерий для проверки параметрических гипотез.

Приведем некоторые следствия из общих результатов.

Пусть  $a(t, x; \alpha, \beta) = A(t, x; \beta) + \alpha a(t, x)$  и нас интересует только параметр системы  $\alpha$ . ОМП  $\hat{\alpha}_T$  параметра  $\alpha$  будет иметь вид

$$\hat{\alpha}_T = \frac{\int_0^T \sigma^{-2}(t, X(t)) a(t, X(t)) \left\{ dX(t) - A(t, X(t); \beta) - \int_R xp(dt, dx) \right\}}{\int_0^T \sigma^{-2}(t, X(t)) a^2(t, X(t)) dt} \quad (4)$$

Легко видеть, что эта оценка является несмещенной. Если дополнительно известно, что при всех допустимых  $\alpha$  процесс  $X(t)$  будет эргодическим, а отношение  $a(t, x) / \sigma(t, x)$  ограничено, то оценка (4) будет асимптотически нормальной и асимптотически эффективной (без дополнительных условий). Если же  $a(t, x) \equiv a(t)$ ,  $\sigma(t, x) \equiv \sigma(t)$ , то (4) дает несмещенную оценку с минимальной дисперсией и нормальным распределением при любом фиксированном  $T$ .

Теперь пусть нас интересует только параметр скачкообразных помех  $\beta$  и пусть  $\Pi(t, A; \beta) = \beta \int_A \rho(t, x) \Pi_1(t, dx)$ , где  $\rho(t, x) > 0$ ,  $\Pi_1(t, dx) dt$  - структурная

функция пуассоновской меры в «опорном» процессе. Тогда ОМП  $\hat{\beta}_T$  неизвестного параметра  $\beta$  будет иметь вид

$$\hat{\beta}_T = \frac{1}{\pi(T)} \int_0^T \int_R p(dt, dx), \quad (5)$$

где  $\pi(T) = \int_0^T \int_R \rho(t, x) \Pi_1(t, dx) dt$ .

Нетрудно проверить, что оценка (5) является несмещенной, её дисперсия равна  $\beta\pi^{-1}(T)$ . Если  $\pi(T) \rightarrow \infty$  при  $T \rightarrow \infty$ , то она состоятельна, асимптотически эффективна и распределение величины  $\sqrt{\pi(T)}(\hat{\beta}_T - \beta)$  сходится к нормальному закону с параметрами  $(0, \beta)$ .

#### **Литература:**

1) И.И.Гихман, А.В. Скороход, *Стохастические дифференциальные уравнения*. – К.:Наукова думка, 1998, 356 с.

**Горбунов Александр Константинович** – д-р физ.-мат. наук, заведующий кафедрой "Физика" КФ МГТУ им. Н.Э. Баумана. E-mail: kf\_MGTU\_FIZ@mail.ru.

**Салова Виктория Юрьевна** – студент КФ МГТУ им. Н.Э. Баумана. E-mail: salovaviki05.13@yandex.ru.

К.Е Осмоловский, А.К. Горбунов

## ПЕРЕХОДНЫЕ ПРОЦЕССЫ В СИСТЕМАХ АДАПТИВНОЙ ИМПУЛЬСНО-КОДОВОЙ МОДУЛЯЦИИ

КФ МГТУ им. Н.Э. Баумана, Калуга, 248000, Россия

Несмотря на большое количество работ, посвященных анализу систем адаптивной импульсно-кодовой модуляции, переходные процессы в этих системах исследованы недостаточно: основное внимание уделено установившемуся режиму. Между тем известно, что именно в переходном режиме, когда определяется реакция на входной сигнал в виде прямоугольного скачка, выявляются адаптационные свойства систем. Поэтому такие исследования необходимы.

### 1. Постановка задачи.

Рассматриваются типовые системы адаптивной импульсно-кодовой модуляции (АИКМ): однопараметрические - дельта-модуляция (ДМ), дифференциальная импульснокодовая модуляция (ДИКМ), адаптивный квантователь с регулируемым диапазоном (Д), временной дискретизатор (Т), многопараметрические - квантователи и дискретизаторы типа ДН, ДОН, ДОНТ.

На вход системы подается сигнал в виде прямоугольного импульса неограниченной длительности и произвольной, во фиксированной амплитуды  $y$ . Распределение вероятностей для амплитуд задано. Сигнал имеет вид

$$z(t) = \begin{cases} 0, & t < 0, jh_{11} < y \leq (j+1)h_{11}, \\ y, & t \geq 0, j = 0, \pm 1, \pm 2, \dots, \end{cases} \quad (1)$$

где  $h_{11}$  - единица измерения сигнала.

Определяются ошибки и время установления стационарного состояния. На основе этих характеристик системы сравниваются между собой. Та система, у которой при фиксированной ошибке среднее время установления процесса наименьшее, считается наиболее адаптивной. Ошибка в установившемся режиме находится с помощью функции  $\omega_i(x)$  - совместной вероятности сигнала и параметров.

### 2. Однопараметрические системы.

Для ДМ функция совместной вероятности значений сигнала и начала отсчета шкалы квантования получается с помощью системы интегральных уравнений, в которой значение коэффициента корреляции следует в данном случае взять равным единице. В результате получим

$$\omega_j(x) = \begin{cases} 1/2\omega(x), & \text{если } (j-1) \cdot h < x \leq (j+1) \cdot h \\ 0, & \text{если } x \leq (j-1) \cdot h, x > (j+1) \cdot h \end{cases} \quad (2)$$

Среднеквадратическая ошибка в установившемся режиме

$$\bar{\varepsilon}^2(\text{ДМ}) = \sum_{j=0}^{\infty} \int_{(j-1)h}^{(j+1)h} (x - jh)^2 \omega(x) dx, \quad (3)$$

где  $h$  - шаг ДМ,  $\omega(x)$  - плотность распределения вероятностей.

Время установления стационарного состояния, выраженное через число временных интервалов между отсчетами  $\tau$ , прямопропорционально значению амплитуды импульса  $y$ , причем коэффициент пропорциональности зависит от значения шага  $h$ . При  $h_{11} = h$  коэффициент равен единице.

Для ДИКМ решение интегральных уравнений совпадает с (2), ошибка совпадает с (3), если интервал квантования ДИКМ вдвое больше шага ДМ. Линейная зависимость времени установления от значения сигнала сохраняется, но коэффициент пропорциональности для ДИКМ в (N-1) раз меньше, чем для ДМ (N -число уровней квантования. Поэтому время установления примерно во столько же раз меньше.

Адаптивный квантователь Д имеет m различных диапазонов  $d_i$ ,  $m > 2$ , m -ограниченное целое число; число уровней квантования первого диапазона  $N_1 = 2^k$ ,  $k = \text{const}$ . Диапазону  $d_i$  соответствует число уровней  $N_i = 2^{i-1} \cdot N_1$ . Пороги ограничения  $\pm \Delta_i$ . Правило регулировки предполагает три возможности: расширение, сужение и сохранение диапазона в зависимости от квантованных значений сигнала.

Функция совместной вероятности значений сигнала и диапазона для входного сигнала (1)

$$\omega_i(x) = \begin{cases} 2\delta(x), & \text{если } \Delta_{i-1} < |x| \leq \Delta_i \\ 0, & \text{если } |x| \leq \Delta_{i-1}, |x| > \Delta_i \end{cases} \quad (4)$$

Среднеквадратическая ошибка в установившемся режиме

$$\bar{\varepsilon}^2(\text{Д}) = \sum_{i=1}^m \left\{ 2 \sum_{l=1}^{N_i-2} \int_{\Omega_{il}} (x - \hat{x}_i)^2 \omega_i(x) dx + 2 \int_{\Omega_i} (x - \hat{x}_i)^2 \omega_i(x) dx \right\} \quad (5)$$

где  $\hat{x}_{il}$  -оценочное значение внутри диапазона  $d_i$ ,  $\hat{x}_i$  -оценочное значение вне диапазона  $d_i$ ;  $\hat{x}_{il} \in \Omega_{il}$ ,  $x_i \in \Omega_i$ .

Если входной сигнал  $0 < |y| \leq \Delta_1$ , то время установления равно  $\tau$ . Если  $\Delta_{i-1} < |y| \leq \Delta_i$  ( $i = 2, m$ ), то диапазон квантования меняется от  $d_1$  к  $d_2$ , от  $d_2$  к  $d_3$  и т.д. вплоть до  $d_i$ , для чего требуется  $i$  временных интервалов  $\tau$ .

В адаптивном квантователе Д переходной процесс описывается так же, как в ДМ и ДИКМ: с помощью ступенчатой аппроксимирующей функции, но в отличие от ДМ и ДИКМ здесь высота "ступенек" неодинакова: каждая последующая (за исключением двух первых) вдвое больше предыдущей. Поэтому зависимость времени установления от сигнала не линейная, как в ДМ и ДИКМ, а приближенно логарифмическая.

Адаптивный временной дискретизатор Т регулирует временной интервал между отсчетами, используя простой знаковый алгоритм, остальные параметры не меняются, т.е. квантователь такой же, как в ИКМ. Аппроксимирующая функция - прямая линия, соответствующая оценочному значению сигнала у, Время установления не зависит от амплитуды у и определяется суммарным числом временных интервалов от начального значения до максимального.

### Список литературы

Великин А.И. Передача аналоговых сообщений по цифровым каналам связи. - М.: «Радио и связь», 1993.

**Горбунов Александр Константинович** – д-р физ.-мат. наук, заведующий кафедрой "Физика" КФ МГТУ им. Н.Э. Баумана. E-mail: kf\_MGTU\_FIZ@mail.ru.

**Осмоловский Кирилл Евгеньевич** – студент КФ МГТУ им. Н.Э. Баумана. E-mail: darkmoon111@rambler.ru.



## ПОСТРОЕНИЕ ОЦЕНКИ МАКСИМАЛЬНОГО ПРАВДОПОДОБИЯ ДЛЯ ИСКАЖЕННЫХ ДИСКРЕТНЫХ ПОСЛЕДОВАТЕЛЬНОСТЕЙ

Разработан алгоритм "восстановления" дискретных отсчетов, когда область возможных значений любого из них определяется значениями конечного числа предшествующих. Алгоритм имеет неэкспоненциальную сложность.

**Введение.** Обычно цифровые данные, передаваемые по каналу связи, содержат последовательности отсчетов  $X_n = x_1, x_2, \dots, x_n(1)$ , где каждый  $x_i$  принадлежит подмножеству  $G(x_{i-1}, x_{i-2}, \dots, x_{i-s}) = G(X_s^{(i)})$  (2),  $i = \overline{S+1, n}$  (3) всего множества  $G_0$  возможных значений (удовлетворяет  $S$ -связным ограничениям марковского типа). Каждый  $x_i$  передается  $m$ -разрядным  $q$ -ичным числом ( $m \geq \log_q N$ ,  $N$ -число элементов в  $G_0$ ), а  $X_n$  -  $n$  числами ( $mn$  символами). Устранение избыточности такого описания  $X_n$  достаточно сложно, и часто целесообразно использовать ее для коррекции ошибок, возникающих в канале связи.

Пусть при передаче  $X_n$  принята  $Y_n = X_n + E_n$  (3), где  $E_n$  - вектор ошибок. Любой "сбой"  $Q_t$  ( $Y_t \in \bar{G}(Y_{t-1}, Y_{t-2}, \dots, Y_{t-s}) = \bar{G}(Y_s^{(t)})$ ) (4) вызван искажением по крайней мере одного из отсчетов  $Y_s^{(t)}$  или  $Y_t$ . Будем искать оценку максимального правдоподобия  $X_n^*$  для  $Y_n$ . Для симметричного канала без памяти  $d(X_n^*, Y_n)$ , где  $d$  - расстояние Хэмминга, а минимум берется по всем  $X_n^*$ , удовлетворяющим заданным ограничениям. Тогда  $E_n^* = Y_n - X_n^*$  (4) - "решение" минимального веса. Ниже рассмотрен алгоритм поиска  $E_n^*(X_n^*)$ .

**Зоны восстановления для поиска  $E_n^*$ .** Обозначим через  $L(c, r)$  совокупность  $2r$  отсчетов  $y_{c-r}, y_{c-r+1}, \dots, y_{c+r}$ , и сформулируем некоторые свойства  $E_n^*$ .

**Теорема 1.** Если  $E_n^*(d)$  - решение минимального веса относительно некоторой совокупности сбоев, то корректируемые отсчеты (ненулевые компоненты  $E_n^*(d)$ ) заключены в "зоне восстановления"  $L(C, Sd - \alpha)$ , где  $C$  и  $\alpha \geq \frac{(S-1)}{2}$  определяются видом совокупности сбоев и связностью  $S$  и не зависят от  $d$ . Для одиночного сбоя  $Q_t$   $C = t - \frac{S}{2}$ ,  $\alpha = \frac{(S-1)}{2}$  (5).

**Теорема 2.** Если  $E_{k-1}^*(d_{k-1})$  и  $E_k^*(d_k)$  - "изолированные" решения минимального веса относительно  $(k-1)$ -ой и  $k$ -ой совокупности сбоев,  $L(C_{k-1}, Sd_{k-1} - \alpha_{k-1})$  и  $L(C_k, Sd_k - \alpha_k)$  - соответствующие зоны восста-

новления и  $R(d_{k-1}, d_k) = (C_k + Sd_k - \alpha_k) - (C_{k-1} + Sd_{k-1} - \alpha_{k-1}) \geq S$  (6), то  $E_n^* = E_{k-1}^* + E_k^*$  (7) - общее решение минимального веса.

Таким образом, для определения  $d_k$  и  $E_k^*$  достаточно последовательно искать решение веса  $W = W_0, W_0 + I, \dots$  (9) в зоне восстановления  $L(C_k, SW - \alpha_k)$ , все время контролируя  $R(d_{k-1}, W)$ . Здесь  $W_0$  - наименьший вес решения, при котором уже целесообразно рассматривать всю совокупность сбоев совместно.

Ситуации, возникающие при таком развитии зоны восстановления, рассмотрены в следующих теоремах.

**Теорема 3.** Если условие теоремы 2 не выполняется, т. е. при

$W < W_0$  ( $0 \leq R(d_{k-1}, W_0) \leq S - I$ ) не найдено  $E_k^*(W)$ , то следует "отменить" найденное  $E_{k-1}^*(d_{k-1})$  и перейти к поиску совместного (для обеих совокупностей сбоев) решения минимального веса  $d_{k-1} + W_0$  в зоне  $L[C, S(d_{k-1} + W_0) - \alpha_k]$ , где  $C = C_k - (Sd_{k-1} - \alpha_{k-1}) - \frac{I}{2}R(d_{k-1}, W_0)$  (10),  $\alpha = \alpha_{k-1} + \alpha_k - \frac{I}{2}R(d_{k-1}, W_0)$  (11).

**Теорема 4.** Захват зоной восстановления  $L(C_k, SW - \alpha_k)$  еще не рассматривавшегося сбоя  $\theta_t$ ,  $0 < t - (C_k + SW - \alpha_k) \leq S$ , не требует изменения  $C_k$  и  $\alpha_k$ .

Итак, формирование  $L(C_k, SW - \alpha_k)$  происходит в результате многократного объединения зон восстановления и захвата сбоев справа, начиная с зон восстановления одиночных сбоев. Поскольку для последних  $C$  и  $\alpha$  известны (см. теорему 1), теоремы 3 и 4 полностью определяют правила нахождения этих параметров.

**Алгоритм построения  $E_n^*$ .** Пусть  $\alpha \rightarrow \beta$  означает замену  $\beta$  на  $\alpha$ ,  $\varphi(\alpha: \beta) = I$  (12), если  $\alpha > \beta$ , и  $\varphi(\alpha: \beta) = 0$  (13), если  $\alpha \leq \beta$ . Сформулируем алгоритм построения  $E_n^*$ .

- 1)  $S \rightarrow i, 0 \rightarrow k, C_k, \alpha_k, d_k$  и переход к 2);
- 2)  $K + I \rightarrow K$  и переход к 3);
- 3)  $i + I \rightarrow i$  и проверка условия  $y_i \in G(Y_S^{(i)})$ . В отсутствии сбоя переход к 3), в противном случае - к 4);
- 4)  $i - \frac{S}{2} \rightarrow C_k, \frac{(S-I)}{2} \rightarrow \alpha_k, I \rightarrow W$  и переход к 5);
- 5)  $R(d_{k-1}, W): (S - I)$ . Если  $\varphi = I$  - переход к 6), если  $\varphi = 0$  - к 9);
- 6) Поиск  $E_k^*(W)$  в  $L(C_k, SW - \alpha_k)$ . Если  $E_k^*$  найдено - переход к 7), если нет - к 8);
- 7)  $W \rightarrow d_k, C_k + Sd_k - \alpha_k + I \rightarrow i$  и переход к 2);
- 8)  $W + I \rightarrow W$  и переход к 5);
- 9) Отказ от  $E_{k-1}^*(d_{k-1})$  и объединение зон:  
 $C_k - (Sd_{k-1} - \alpha_{k-1}) - \frac{I}{2}R(d_{k-1}, W) \rightarrow C_{k-1},$   
 $\alpha_{k-1} + \alpha_k - \frac{I}{2}R(d_{k-1}, W),$

$\alpha_{k-1} + W \rightarrow W, K - I \rightarrow K$  и переход к 5).

Так как алгоритм целиком основан на содержании теорем 1-4, то для любой  $Y_n$  он позволяет найти  $X_n^*$ . Интересно его сходство с алгоритмом последовательного декодирования.

**Поиск  $E^*(W)$  в  $L(C, SW - \alpha)$ .** Ограничения удобно описать матрицей  $A = \|a_{ux}\|$ , размера  $N^s \times N$ , где  $a_{ux} = I$ , если  $(X_i = X) \in G(X_S^{(i)} = u)$ , и  $a_{ux} = 0$  в противном случае. Сбой между  $y_i = x$  и  $Y_S^{(i)} = u$  имеет место в том и только том случае, когда  $a_{ux} = 0$ .

Для построения  $E^*(W)$  в  $L(C, SW - \alpha)$  используем алгоритм Витерби. Для этого построим таблицу с элементами  $d_{i+1}(V) = \frac{I}{a_{ux}} [d(x, y_{i+1}) + \min_u d_i(u)]$ ,  $i = \overline{C - SW + \alpha, C + sw - \alpha}$ ,  $u = u_1, u_2, \dots, u_s$  (14)

$v = u_2, u_3, \dots, u_s$  (15),  $x(u_j = \overline{I, N}, j = \overline{I, S})$  и принято  $\min_u d_{C-SW+\alpha}(U) = 0$  (16). Тогда  $W^* = d_{C+r+1}(x = y_{C+r+1})$  (17) - минимальный вес решения в  $L(c, r)$ , где  $r = sw - \alpha$  (18). Последовательно увеличивая  $W$  и строя каждый раз таблицу, наконец получим  $W^* = W = d$ . Позиция минимального элемента последнего столбца соответствует  $X_{C+r-S+1}^*, X_{C+r-S+2}^*, \dots, X_{C+r}^*$ . Остальные отсчеты  $X_n^*$  определяются справа налево при заданных  $S$  предыдущих  $X_i^*$ .

**Сложность алгоритма.** Если при рекуррентном построении таблицы помнить лишь  $\nu$  последних столбцов, то потребуется многократное воспроизведение  $2r, 2r - S - \nu + I, 2r - S - 2\nu + I, \dots$  столбцов этой таблицы при  $W^* = W = d$ . Тогда требуемый объем памяти составляет  $S = m\nu N^S + N^{S+1}$  (19) бит (на запоминание столбцов и матрицы  $A$ ), а среднее число элементарных арифметических операций, необходимых для восстановления одного отсчета  $\overline{C} < J_1 N^h m \varepsilon + J_2 n N^h m^2 \varepsilon^2$ , где  $\varepsilon$  - вероятность искажения одного символа,  $S \leq h \leq S + I$ ,  $J_1$  и  $J_2$  - вычислительные константы. Простые рассуждения показывают, что на самом деле  $\overline{C}$  практически не зависит от  $n$ , и в полученном выше выражении зависимость от  $n$  обусловлена грубым методом получения оценки.

### Список литературы

[1] Э. Берлекэмп. *Алгебраическая теория кодирования*. Москва, издательство: "Мир", 1971, 480

**Горбунов Александр Константинович** – д-р физ.-мат. наук, заведующий кафедрой "Физика" КФ МГТУ им. Н.Э. Баумана. E-mail: kf\_MGTU\_FIZ@mail.ru.

**Упоров Егор Ильич** – студент КФ МГТУ им. Н.Э. Баумана. E-mail: egoruporov@rambler.ru.

А.Ш. Абдурахманов, А.К. Горбунов

**ПРИМЕНЕНИЕ ТЕОРИИ ИНФОРМАЦИИ В ОДНОЙ МОДЕЛИ  
МЕТОДА СЛУЧАЙНОГО БАЛАНСА**

КФ МГТУ им. Н.Э. Баумана, Калуга, 248000, Россия

Данная заметка является одной из работ, в которых на модельных примерах обосновывается известный полуэмпирический метод случайного баланса. Пусть имеется  $t$  факторов, т.е. переменных  $x_\alpha$ ,  $\alpha = 1, \dots, t$  принимающих по нашему выбору одно из двух значений 0 или 1. Известно, что какие – то  $S \ll t$  из этих факторов – значимые. Задана функция  $y(x)$  от вектора  $x = \{x_\alpha, \alpha = 1, \dots, t\}$ , равная 0, если число  $n$  значимых факторов, равных 1 заключено в пределах  $0 \leq \alpha \leq n < b \leq s$  и  $y = 1$  в противном случае. Требуется найти все значимые факторы с помощью экспериментов следующего типа. Каждому фактору  $x_\alpha$  в  $i$ -ом эксперименте задают значение  $x_{\alpha i}$  и измеряют  $y_i = y(x_{1i}, \dots, x_{ti})$ . Результат измерения передается по каналу с искажением, в результате чего на выходе измеряются независимые случайные величины  $z_i = 0$  или 1, причем известны вероятности перехода  $r_{mn} = P\{z_1 = n / y_i = m\}$ ;  $m, n = 0, 1$ . Если  $r_{mn} = 1 - r$ ,  $n = 0, 1$ ; то говорят, что канал симметричен. На языке теории информации, задавая значения факторов  $x_{\alpha i}$  мы кодируем сообщение о значимых факторах в двоичную последовательность  $y_i$ ; анализируя последовательность  $z_i$ , мы должны декодировать сообщение. Мы рассматриваем в основном такие последовательности экспериментов, в которых значения факторов не зависят от предыдущих измерений. Такие стратегии нужны в ситуациях, когда значения факторов должны быть заданы раз и навсегда. В то же время выясняется, что число экспериментов нельзя существенно уменьшить, за счет учета результатов предыдущих измерений, но можно упростить анализ экспериментов.

Зададим вероятности  $\beta$  и  $\gamma$  того, что в результате исследования хотя бы один соответственно незначимый (значимый) фактор признан значимым (незначимым). С помощью теоретико-информационных соображений мы получаем нижнюю оценку числа экспериментов, необходимых для выделения всех значимых факторов с заданными вероятностями  $\beta$  и  $\gamma$  ошибок. Затем описывается конкретная стратегия проведения измерений и несколько способов анализа экспериментов. Получены оценки числа экспериментов и сложности их обработки при использовании этих методов. Ре-

зультаты обобщаются на случай, когда для  $S$  задано априорное распределение.

1. Допустим вначале, что ошибки в передаче результатов нет. Тогда используя то, что каждый эксперимент может иметь два исхода, легко получить нижнюю оценку для числа  $N$  экспериментов  $2^N > C_t^S$ , что выполнено при  $N > S \log_2 t - \log_2(S!)$

В этой работе мы уделяем главное внимание слагаемому в оценке числа экспериментов, зависящему от  $t$ , который наиболее важен при  $t \rightarrow \infty$ ,  $S = const$ .

В случае симметрического канала с шумом из сильного обращения теоремы кодирования следует, что нижней оценкой числа  $N$  экспериментов при заданных вероятностях ошибок  $\beta$  и  $\gamma$  является:

$$N > (S \log_2 t - \log_2(S!))(1 + H(r))^{-1},$$

где  $H(r) = r \log_2 r + (1-r) \log_2(1-r)$ .

2. Из-за того, что кодирование у нас имеет специальный характер, теорема Шеннона, оценивающая сверху длину оптимального закодированного сообщения, не может быть непосредственно применена для оценки сверху числа экспериментов. Известную схему доказательства ее, использующую случайное кодирование, приходится модифицировать, предполагая зависимыми последовательности  $y_1, \dots, y_N$  отвечающие пересекающимся множествам  $S$  факторов, и оценка длины сообщения существенно усложняется. Кроме того, для некоторых  $a, b$  нельзя добиться, чтобы вероятности событий  $y=1$  и  $y=0$  соответствовали пропускной способности (например, в случае  $a=1, b=2$   $P\{y=1\} \geq -\frac{1}{e} + 1$ , а пропускная способность для симметрического канала достигается при  $P\{y=1\} = \frac{1}{2}$ ). Используя теоремы Муавра-Лапласа и Пуассона можно вывести достаточные условия того, что бы вероятность  $P\{y=1\}$  соответствовала пропускной способности канала.

В качестве примера для простого случая  $a=0, b=1$  и канала без шума опишем планирование и анализ экспериментов, что главный член числа измерений есть  $S \log_2 t$ . Для этого положим, что  $x_{ai}$  - случайные величины, независимые при разных  $\alpha$  или  $i$  и  $P\{x_{ai}=0\} = 2^{-1/s} = q$ . В процессе декодирования мы оставляем только факторы, равные 0 во всех экспериментах с  $y=0$ . Из них мы составляем всевозможные  $S$ -ки.

Теорема 1. Если число описанных выше экспериментов

$$N > S \log_2 t + S^2 \log_2 S - S \log_2 \delta,$$

то с вероятностью, большей  $1 - \delta$  только у искомой  $S$  - ки в каждом эксперименте с  $y = 1$  хотя бы один фактор равен 1.

Отметим, что декодирование требует исследования каждой  $S$  - ки, т.е. порядка  $t^s$  циклов операции, что практически невыполнимо при реально возможных  $S$  и  $t$ . При неточно известном  $S$  можно модифицировать декодирование, включив перебор, начиная от меньших  $S$ , но это еще более усложнит процедуру.

Аналогичную процедуру, использующую декодирование по методу максимального правдоподобия, можно исследовать и в случае канала с шумом. Для нее остаются в силе перечисленные выше недостатки.

3. Опишем теперь для простоты в случае  $a = 0, b = 1$  и симметричного канала  $0 < r < \frac{1}{2}$  анализ, который при том же планировании экспериментов, что и в п.3, требует примерно в  $(\ln 2)^{-1}$  раз больше экспериментов, и порядка  $t$  циклов операций. Он устойчив по отношению к неточности знания величины  $S$ .

Метод заключается в проверке для каждого фактора  $x_\alpha$  гипотезы о его значимости. Каждый эксперимент имеет при данном  $\alpha$  4 исхода  $(y_i, x_{\alpha i})$ ;  $y_i = 0, 1$ ;  $x_{\alpha i} = 0, 1$ .

Применение теоремы о больших отклонениях к сумме независимых логарифмов отношений правдоподобия доказывается.

### Литература

Дж.Вольфовиц. *Теоремы кодирования теории информации*. Москва, Мир, 1968, 248 с.

**Горбунов Александр Константинович** – д-р физ.-мат. наук, заведующий кафедрой "Физика" КФ МГТУ им. Н.Э. Баумана. E-mail: kf\_MGTU\_FIZ@mail.ru.

**Абдурахманов Акмал Шавкатович** – студент КФ МГТУ им. Н.Э. Баумана. E-mail: abaksha28@gmail.com.

## СИНТЕЗ ПРЕОБРАЗОВАНИЯ ВЕКТОРНОГО СООБЩЕНИЯ

КФ МГТУ им. Н.Э. Баумана, Калуга, 248000, Россия

Разработан новый «быстрый» алгоритм адаптивного ортогонального преобразования для сжатия данных. Синтез ортогонального преобразования проведен на основе минимизации энтропии распределения дисперсии по компонентам векторного сообщения.

При анализе откликов многоканальных источников речевых, телевизионных, телеметрических и другого вида сообщений часто приходится сталкиваться с их нестационарностью. Это проявляется в текущем изменении, например, корреляционных функций, энергетических спектров или других статистических характеристик векторного сообщения. Эффективные алгоритмы цифровой обработки и кодирования нестационарных сообщений должны строиться на основе оценки текущих статистических характеристик последних и соответствующих подстройке параметров алгоритма по выбранному критерию оптимальности.

В настоящее время известно много различных алгоритмов адаптивного разностного кодирования сообщений на основе дифференциальной ИКМ и дельта модуляции. Однако еще мало внимания уделено адаптивным алгоритмам кодирования сообщений с преобразованием, имеющих простую реализацию. О возможности построения подобных алгоритмов указывается, но не приводится методика их синтеза.

В данной работе предлагается метод синтеза субоптимального ортогонального преобразования для адаптивного сжатия векторного сообщения. Метод ориентирован на «быстрый» алгоритм аппаратно – программной реализации.

Пусть на выходе источника наблюдается последовательность векторов  $\bar{X}_t, t=0,1,2,\dots$ , между компонентами которых наблюдаются корреляционные взаимосвязи, характеризующиеся изменяющейся во времени матрицей корреляции  $R_{x,t}$ . Найдем такое изменяющееся во времени в соответствии с  $R_{x,t}$  декодирующее преобразование  $\bar{y} = p^T \bar{x}$ , с ортогональной матрицей  $p_t^T$ , где  $T$ -знак транспонирования, которое удовлетворяло бы следующим условиям. Во-первых, оно должно иметь «быстрый» алгоритм реализации, типа алгоритма БПФ. Во-вторых, было бы оптимальным по некоторому критерию. Известно, что второму условию удовлетворяет алгоритм оптимального ортогонального преобразования Карунена – Лозва – Пугачева с матрицей преобразования  $p_{opt}$ , столбцами которой являются собственные

векторы  $R_x$ . Однако этот алгоритм не конструктивен и не удовлетворяет первому условию. «Быстрое» ортогональное преобразование получают на основе факторизованного представления матрицы  $p_t^T$  или в виде произведения сильно разреженных матриц. Если эти матрицы к тому же сделаны зависимыми от ряда параметров  $\bar{y}_t$ , изменяющихся в соответствии с  $R_{x,t}$ , то можно получить адаптивный вариант ортогонального преобразования следующего вида

$$\bar{y}_t = p_t^T(\bar{y}) \cdot \bar{x}_t = p_{t,A-1}^T(\bar{y}_{n-1})^{x \dots x} p_{t,m}^T(\bar{y}_m)^{x \dots x} p_{t,0}^T(\bar{y}_0) \cdot \bar{x}_t, \quad (1)$$

где  $n = \log_2 M$ ,  $M = 2^n$  - размерность вектора  $\bar{x}_t$ .

На основе (1), вычисление вектора  $\bar{y}_t$  и его корреляционной матрицы  $R_{y,t}$  можно выполнить рекуррентно. Так на  $(m+1)$ -ом шаге имеем

$$\bar{y}_t^{m+1} = p_{t,m}^T(\bar{y}_m) \cdot \bar{y}_t^m; R_{y,t}^{m+1} = p_{t,m}^T(\bar{y}_m) \cdot R_{y,t}^m \cdot p_{t,m}(\bar{y}_m), \quad (2)$$

где  $\bar{x}_t = \bar{y}_t^0$ ,  $\bar{y}_t = \bar{y}_t^n$ ;  $R_{x,t} = R_{y,t}^0$ ,  $R_{y,t} = R_{y,t}^n$ ,  $m = \overline{0, n-1}$ .

В соотношениях (1) и (2) структура разреженных матриц сомножителей  $p_{t,m}^T(\bar{y}_m)$  имеет вид  $\|p_{ij}^n(\bar{y}_j^m)\|$ ,  $i, j = \overline{0, M-1}$ , где отличным от нуля являются только  $2M$  элементов следующего вида

$$p_i, k_i(y_{k_i}^m), k_i = \left[ \frac{i}{2} \right]; p_i^m, l_i(y_{k_i}^m), l_i = \left[ \frac{M+1}{2} \right], i = \overline{0, M-1}, \quad (3)$$

где  $[z]$  - целая часть числа  $z$ . Здесь элементы (3) матриц  $p_{t,m}^T(\bar{y}_m)$ ,  $m = \overline{0, n-1}$ , образуют так называемые ортогональные ядра, которые для действительных матриц соответственно равны

$$\begin{aligned} p_i^m, k_i(y_{k_i}^m) &= \cos y_{k_i}^m, p_i^m, l_i(y_{k_i}^m) = \sin y_{k_i}^m, i = \overline{0, 2, 4, \dots} \\ p_i^m, k_i(y_{k_i}^m) &= \sin y_{k_i}^m, p_i^m, l_i(y_{k_i}^m) = -\cos y_{k_i}^m, i = \overline{1, 3, 5, \dots} \end{aligned} \quad (4)$$

В (4) параметры (углы)  $y_{k_i}^m, k_i = \overline{0, \frac{M}{2}-1}$ ,  $m = \overline{0, n-1}$ , нуждаются в определении. Перейдем к их расчету.

Подставляя (4) в (2) найдем вначале дисперсии вектора  $\bar{y}_t^{m+1}$ , после ряда преобразований получаем

$$D_{y,i}^{m+1} = r_{y,i}^{m+1} = \frac{1}{2}(r_{k_i, k_i}^m + r_{l_i, l_i}^m) + \frac{1}{2}(-1)^i \sqrt{4(r_{k_i, l_i}^m)^2 + (r_{k_i, k_i}^m - r_{l_i, l_i}^m)^2} \cdot \sin(\beta_{k_i, l_i}^m + 2y_{k_i}^m). \quad (5)$$

где  $\beta_{k_i, l_i}^m = \frac{\arctg(r_{k_i, k_i}^m - r_{l_i, l_i}^m)}{2r_{k_i, l_i}^m}$ ;  $i = \overline{0, M-1}$ ;  $m = \overline{0, n-1}$ .

Оптимальное ортогональное преобразование  $p_{opt}^T$  оптимизируется распределение дисперсий по компонентам вектора  $\bar{y}$ , т.е. приводит его к наиболее неравномерному. Мерой неравномерного распределения дисперсий по компонентам преобразованного вектора  $\bar{y}$  служит энтропия. Следовательно, критерий оптимальности для расчета искомых параметров  $\{y_{k_i}^m\}$  ор-



тогонального преобразования на каждом  $(m+1)$ -ом шаге можно записать в следующем виде

$$\dot{Y}^{m+1}(y_{k_i}^m) = -\frac{1}{M} \sum_{i=0}^{M-1} D_{y,i}^{m+1} \cdot \log_2 D_{y,i}^{m+1} + \log_2 M, \quad (6)$$

где  $\dot{Y}^{m+1}(y_{k_i}^m)$  - энтропия распределения дисперсии  $\{D_{y,i}^{m+1}\}$ , удовлетворяющих условию нормировки

$$\frac{1}{M} \sum_{i=0}^{M-1} D_{y,i}^{m+1} = \frac{1}{M} \sum_{i=0}^{M-1} D_{x,i} = 1, m = \overline{0, n-1} \quad (7)$$

Подставляя в (6) дисперсии вектора  $\bar{y}_i^{m+1}$ , вычисляемых по соотношению (5), и, учитывая (7), найдем такие параметры  $\{y_{k_i}^m\}$ , которые минимизируют (6), иначе приводят к наиболее неравномерному распределению дисперсий  $\{D_{y,i}^{m+1}\}$  вектора  $\{y_{k_i}^m\}$ . Применяя метод неопределенных множителей Лагранжа, получаем необходимое и достаточное условие минимума (6) в следующем виде

$$\frac{\partial}{\partial y_{k_i}^m} D_{y,i}^{m+1} = 0, i = \overline{0, M-1}, k_i = \left[ \frac{i}{2} \right], m = \overline{0, n-1}. \quad (8)$$

Подставляя в это выражение соотношение (5) и учитывая главные значения углов – параметров  $y_{k_i}^m, k_i = \overline{0, \frac{M}{2}-1}$ , приходим к окончательному выражению для последних

$$y_{k_i}^m = \frac{1}{2} \arctg - \frac{2 \cdot r_{k_i, l_i}^m}{r_{k_i, k_i}^m - r_{l_i, l_i}^m}, k_i = \overline{0, \frac{M}{2}-1}, m = \overline{0, n-1}. \quad (9)$$

Из (4) и (9) следует, что параметры  $\{y_{k_i}^m\}$  полностью определяют матрицы – сомножители ортогонального преобразования (1).

### Литература

[1] E.R. Berllkamp. *Block coding with noiseless feedback*. MIT Ph. D. Thesis, 1994

**Горбунов Александр Константинович** – д-р физ.-мат. наук, заведующий кафедрой "Физика" КФ МГТУ им. Н.Э. Баумана. E-mail: kf\_MGTU\_FIZ@mail.ru.

**Цаплина С.Ф.** – ассистент кафедры "Физика" КФ МГТУ им. Н.Э. Баумана. E-mail: caplina.svetlana@bk.ru.

**СОСТОЯТЕЛЬНЫЕ ЛИНЕЙНЫЕ РЕГРЕССИОННЫЕ ОЦЕНКИ**

Пусть  $\zeta(x) = \xi(x) + f(x)$  - (вещественное) случайное поле на  $m$ -мерном евклидовом пространстве  $R^m$ , причем  $\xi(x)$  - измеримое случайное поле с  $\sup_{x \in R^m} E[\xi(x)]^2 < \infty$  и  $E\xi(x) \equiv 0$ , а  $f(x)$  - детерминированный тренд; априори известно, что  $f$  принадлежит данному  $r$ -мерному линейному пространству измеримых функций  $M$  ( $1 \leq r \leq \infty$ ) или, иначе говоря,  $f(x) \equiv \sum_{i=1}^r a^i f_i(x)$ , где  $\{f_1, \dots, f_r\}$  - базис в  $M$ , а  $a^i$  - неизвестные «коэффициенты регрессии». Требуется оценить тренд  $f$  по наблюдаемой реализации поля  $\zeta$  на множестве  $A \subset R^m$ .

Рассмотрим произвольную функцию  $p(\cdot)$ , обладающую свойствами:

- 1)  $p(x) \geq 0$  на  $A$  и  $p(x) = 0$  вне  $A$ ;
- 2) функция  $p(\cdot)$  измерима и  $\int p(x) dx = 1$ ;
- 3)  $\int [f(x)]^2 p(x) dx < \infty$  для любой функции  $f \in M$ .

Обозначим:  $L_p^2$  - гильбертово пространство всех измеримых функций  $f$ , для которых  $\int [f(x)]^2 p(x) dx < \infty$ , со скалярным произведением  $\langle f, g \rangle = \int f(x)g(x)p(x) dx$ ; если  $\{f_1, \dots, f_r\}$  - базис в  $M$ , то  $g^{ij} = \langle f_i, f_j \rangle$ ;  $\Gamma = \{g^{ij}\}$  (матрица Грама этого базиса) и  $D = \{d^{ij}\} = \Gamma^{-1}$ . С вероятностью 1  $\zeta(\cdot) \in L_p^2$  и для любой функции  $f$  из  $L_p^2$  определено скалярное произведение  $\langle \zeta, f \rangle = \int \zeta(x)f(x)p(x) dx$ . С функцией  $p(\cdot)$  мы можем связать несмещенную оценку тренда  $f(x)$ :  $\hat{f}(x) = \sum_{i=1}^r a^i f_i(x)$ , где  $\hat{a}^i = \sum_{j=1}^r d^{ij} \langle \zeta, f_j \rangle$  (с вероятностью 1  $\hat{f}(\cdot)$  является проекцией функции  $\zeta(\cdot)$  на пространство  $M$ ). В дальнейшем  $\{p_n, n=1, 2, \dots\}$  - последовательность функций со свойствами 1 - 3;  $\hat{f}_n, \hat{a}_n^i, y_n^{ij}$  и  $\Gamma_n$  строятся, как и раньше, при  $p = p_n$ .

Последовательность оценок  $\{\hat{f}_n(\cdot), n=1, 2, \dots\}$  называется состоятельной, если, каков бы ни был тренд  $f$  из  $M$ , при любом  $x \in R^m$   $\lim_{n \rightarrow \infty} E[\hat{f}_n(x) - f(x)]^2 = 0$ , и сильно состоятельной, если с вероятностью 1

$\lim_{n \rightarrow \infty} \hat{f}_n(x) \equiv f(x)$ ; разумеется, это равносильно состоятельности в соответствующем смысле оценок  $\{\hat{a}_n^i\}$  при  $i = 1, \dots, r$ . Мы укажем для некоторых типов пространств  $M$  условия, при которых последовательность  $\{p_n\}$  определяет состоятельную или сильно состоятельную последовательность оценок  $\{\hat{f}_n\}$ . По мере надобности мы будем вводить следующие условия:

(А) Последовательность  $\{p_n\}$  «не вырождает» базис  $\{f_1, \dots, f_n\}$

$$\lim_{n \rightarrow \infty} \frac{\det \Gamma_n}{\prod_{i=1}^r g_n^{ii}}$$

(при  $r = 2$  фигурирующая здесь дробь равна квадрату синуса угла между  $f_1$  и  $f_2$  в  $L_p^2$ );

(В) При любом  $y \in R^m$

$$\lim_{n \rightarrow \infty} \int |p_n(x+y) - p_n(x)| dx = 0;$$

(С) Существуют последовательность положительных чисел  $k_1, k_2, \dots$  такая, что  $k_n p_n(x)$  - возрастающая последовательность функций;

(D) Существует константа  $K < \infty$  такая, что  $|B_n - B_n| \leq K$  при всех  $n$ ; здесь  $|A|$  - внешняя мера Лебега множества  $A$ ,

$$B_n = \{(x, t) : x \in R^m, t \in R, 0 < t < p_n(x)\},$$

$$B_n - B_n = \{z : z \in R^{m+1}, z = x - y, x \in B_n, y \in B_n\};$$

Будем говорить, что последовательность  $\{p_n\}$  регулярна, если существуют последовательность функций  $\{\tilde{p}_n\}$  со свойствами 1 – 3, (С) и (D), и константа  $K' < \infty$  такие, что  $p_n(x) \leq K' \tilde{p}_n(x)$  при всех  $x \in R^m$ . Разумеется, всякая последовательность  $\{p_n\}$  со свойствами (С) и (D) регулярна. Регулярная последовательность обладает свойством (D).

Пример 1. Пусть  $r(A)$  - верхняя грань радиусов шаров, содержащихся в множестве  $A \subset R^m$ . Если а) при любом  $n$  носитель  $A_n$  функции  $p_n$  - ограниченное выпуклое множество, б) функция  $p_n$  на  $A_n$  выпукла вверх и с)  $\lim_{n \rightarrow \infty} r(A_n) = \infty$ , то последовательность  $\{p_n\}$  обладает свойствами (В) и (D).

Пример 2. Пусть  $p(x)$ ,  $x \in R^m$  - ограниченная функция с ограниченным носителем и со свойствами 1 – 3,  $\{\alpha_n\}$  - последовательность положительных чисел. Последовательность функций  $p_n(x) = \alpha_n p(\alpha_n x)$  регулярна и обладает свойством (В), если  $\alpha_n \rightarrow 0$

Пример 3. Пусть  $A_n = \{x = (x_1, \dots, x_m) : 0 \leq x_i \leq T_{in}\}, T_{in} \uparrow \infty$  при  $n \uparrow \infty$  ( $i = 1, \dots, r$ ) и  $\chi_{A_n}(\cdot)$  - индикатор множества  $A_n$ . Согласно примеру 1, последовательность  $p_n(x) = \frac{1}{|A_n|} \chi_{A_n}(x)$  обладает свойствами (B) - (D). Она обладает также свойством (A) относительно любого базиса  $\{f_1, \dots, f_r\}$ , состоящего из степенных функций:

$$f_i(x) = x_1^{\alpha_{i1}} \dots x_m^{\alpha_{im}} \quad (\alpha_{ij} \geq 0)$$

Свойством (A) относительно таких базисов обладают и последовательности, рассмотренные в предыдущем примере. Любая последовательность со свойством (B) не вырождает базисы, состоящие из равномерно почти периодических функций.

Напомним, что для любой равномерно почти периодической функции  $f(\cdot)$  при любом  $\lambda \in R^m$  определен коэффициент Фурье  $\hat{f}(\lambda) = \lim_{n \rightarrow \infty} \frac{1}{|\Sigma_n|} \int_{\Sigma_n} e^{-i(\lambda, x)} f(x) dx$  ( $\Sigma_n$  - шар радиуса  $n$  в  $R^m$ ). (Счетное)

множество  $S_f = \{\lambda : \hat{f}(\lambda) \neq 0\}$  назовем спектром функции  $f$ . Спектром семейства почти периодических функций  $\Phi$  назовем множество  $S_\Phi = \bigcup_{f \in \Phi} S_f$ .

Спектр пространства почти периодических функций  $M$  совпадает со спектром любого его базиса. Если  $\xi(x), x \in R^m$  - однородное в широком смысле случайное поле, то  $S_\xi$  означает множество точек разрыва его спектральной меры  $F(\cdot) : S_\xi = \{\lambda : F(\{\lambda\}) \neq 0\}$ .

Теорема 1. Пусть пространство  $M$  состоит из почти периодических функций. Если поле  $\xi(x)$  однородно в широком смысле и  $\{p_n\}$  удовлетворяет условию (B), то условие  $S_M \cap S_\xi = \emptyset$  необходимо и достаточно для состоятельности последовательности  $\{\hat{f}_n\}$ . Если поле  $\xi(x)$  однородно в узком смысле, а последовательность  $\{p_n\}$  регулярна и обладает свойством (B), то условие  $S_M \cap S_\xi = \emptyset$  необходимо и достаточно и для сильной состоятельности  $\{\hat{f}_n\}$ .

### Литература

1. Линник Ю.Л. *Статистические задачи с мешающими параметрами*. Москва, «Наука», 1990, 252 с.

**Горбунов Александр Константинович** – д-р физ.-мат. наук, заведующий кафедрой "Физика" КФ МГТУ им. Н.Э. Баумана. E-mail: kf\_MGTU\_FIZ@mail.ru.

**Абдурахманов Акмал Шавкатович** – студент КФ МГТУ им. Н.Э. Баумана. E-mail: abaksha28@gmail.com.

УДК 621.391

А.К. Горбунов, А.Г. Хрустова

## **ЭЛЕМЕНТЫ ТЕОРИИ ОПТИМИЗИРОВАННОЙ ДЕЛЬТА-МОДУЛЯЦИИ С ДЕМОДУЛЯЦИЕЙ НА ОСНОВЕ ВТОРЫХ РАЗНОСТЕЙ.**

КФ МГТУ им. Н.Э. Баумана, Калуга, 248000, Россия

Рассматриваются двоичные и троичные алгоритмы дельта-модуляции с демодуляцией на основе вторых разностей, использование которых позволяет существенно улучшить качественные характеристики преобразования. Приводятся оценки переходных и установившихся процессов при "наихудших" постоянно действующих ограниченных возмущающих воздействиях, а также рекомендации по оптимизации.

Дельта-модуляция – это способ преобразования непрерывных или дискретных функций (сигналов) в поток одинаковых по модулю и отличающихся по знаку величин (квантов). Использование такого преобразования позволяет заменить оперирование с многоуровневыми кодами эквивалентными действиями с одноуровневыми величинами и существенно упростить различные системы и устройства. Применение дельта-модуляции позволяет эффективно решать вопросы уплотнения цифровой информации при передаче и записи звуковых, телевизионных сигналов, сигналов телеуправления, организации параллельных вычислительных процессов, обмена информацией в вычислительных системах и сетях, построения аналого-цифровых преобразователей и т. п.

В технической литературе наиболее известны методы дельта-модуляции, демодуляция в которых выполняется на основе использования первых разностей или одинарного интегрирования (дельта-модуляция первого порядка). Недостатками этих методов являются низкая производительность и точность. Возможность улучшения характеристик дельта-модуляции уже давно естественно связывалась с разработкой дельта-модуляции более высоких порядков, когда демодуляция выполняется на основе разностей второго и более высоких порядков или многократного интегрирования. Однако выполняемые с помощью. Однако выполняемые с помощью известных алгоритмов преобразования характеризуются при условиях работы с перегрузкой сильными колебаниями погрешности, слабо затухающими после снятия перегрузки, а также низкой точностью. В связи с этим известные алгоритмы дельта-модуляции высоких порядков оказываются практически неработоспособными.

В данной работе рассматриваются двоичные и троичные алгоритмы дельта-модуляции с демодуляцией на основе вторых разностей, использование которых позволяет существенно улучшить качественные характеристики преобразования. Это улучшение обеспечивается благодаря организации оптимизированных по быстродействию переходных и точности ус-

тановившихся процессов. Исследование базируется на минимаксном критерии оптимальности и теоретических принципах оптимальных по быстродействию систем управления второго порядка.

1. Алгоритм двоичной дельта-модуляции.

Ниже приводится этот алгоритм в виде, более удобном для практического использования:

- модуляция

$$\begin{aligned} Z_i &= Y_i - y_i; \quad \nabla Z_i = z_i - z_{i-1}; \\ F_i &= z_i + 1,5 \nabla z_i + (0,5 \nabla z_i^2 / c - 0,125c) \text{sign}(\nabla z_i); \\ \Delta_{i+1} &= -\text{sign}(F_i); \end{aligned}$$

-демодуляция

$$\begin{aligned} \nabla^2 Y_{i+1} &= c * \Delta_{i+1}; \quad \nabla Y_{i+1} = \nabla Y_i + \nabla^2 Y_{i+1}; \\ Y_{i+1} &= Y_i + \nabla Y_{i+1}; \quad c * \geq c; \quad c > 0. \end{aligned}$$

Здесь  $y_i = y(t_i)$  – значение модулируемой функции на  $i$ -ом шаге в момент времени  $t_i$ ,  $i=1,2,\dots,t_i=t_0+i \nabla t$ ,  $\nabla t$  – постоянный шаг модуляции;  $Y_i$  – значение демодулированной функции на  $i$ -ом шаге;  $Z_i$  – погрешность дельта-модуляции,  $\nabla Z_i$  – приращение погрешности;  $\nabla^2 Y_{i+1}$  – вторая разность демодулированной функции (квант модуляции);  $\nabla Y_{i+1}$  – первая разность демодулированной функции;  $\text{sign}(x) \in \{+1; -1\}$ , при чем  $\text{sign}(0) = +1$  или  $\text{sign}(0) = -1$ . В установившемся процессе при отсутствии возмущающих воздействий ( $\nabla^2 Y_i = 0, i=1,2,\dots$ ) "собственная" погрешность преобразования не превышает  $1,25 c$  ( $c = c^*$ ).

2. Алгоритм троичной дельта-модуляции:

-модуляция

$$\begin{aligned} Z_i &= Y_i - y_i; \quad \nabla Z_i = z_i - z_{i-1}; \\ F_i^{(1)} &= z_i + 1,5 \nabla z_i + (0,5 \nabla z_i^2 / c + 0,5c) \text{sign}(\nabla z_i); \\ F_i^{(2)} &= z_i + 0,5 \nabla z_i + (0,5 \nabla z_i^2 / c - 0,5c) \text{sign}(\nabla z_i); \\ S_i^{(1)} &= \text{sign}(F_i^{(1)}); \quad S_i^{(2)} = \text{sign}(F_i^{(2)}); \\ \text{Если } S_i^{(1)} \cdot S_i^{(2)} &> 0, \text{ то } \Delta_{i+1} = - S_i^{(1)}, \text{ иначе } \Delta_{i+1} = 0; \end{aligned}$$

-демодуляция

$$\begin{aligned} \nabla^2 Y_{i+1} &= c * \Delta_{i+1}; \quad \nabla Y_{i+1} = \nabla Y_i + \nabla^2 Y_{i+1}; \\ Y_{i+1} &= Y_i + \nabla Y_{i+1}; \quad c * \geq c; \quad c > 0. \end{aligned}$$

В установившемся процессе при  $\nabla^2 Y_i = 0, i=1,2,\dots$  "собственная" погрешность модуляции ограничивается значением  $0,625 c$  ( $c = c^*$ ).

Рассмотренная методика организации процессов дельта-модуляции с использованием алгоритмов (1),(2) является основой для эффективного решения вопроса высокопроизводительного преобразования случайных сигналов.

**Литература:**

[1]. Рейгус Г.С. *Дельта-модуляция*. М. Связь, 1996, с. 271.

**Горбунов Александр Константинович** – д-р физ.-мат. наук, заведующий кафедрой "Физика" КФ МГТУ им. Н.Э. Баумана. E-mail: kf\_MGTU\_FIZ@mail.ru.

**Хрустова Александра Геннадьевна** – студент КФ МГТУ им. Н.Э. Баумана. E-mail: Procrastinazia@yandex.ru.

УДК 621.391

А.В. Скударнова, А.К. Горбунов

## ЭНТРОПИЯ И ОЦЕНКА СТРУКТУРЫ

КФ МГТУ им. Н.Э. Баумана, Калуга, 248000, Россия

Для оценки эффективности структуры используется соотношение между средней энтропией на входе и выходе системы. Эта применяется для определения сложности арифметических операций и анализа логических схем.

*Энтропия, оценки структуры, сложность арифметических операций, анализ логических схем.*

Любую систему, которая обрабатывает информацию, можно рассматривать как некоторый фильтр, включенный между источником исходных данных и потребителем результатов обработки. Исходные данные при этом являются выходными сигналами некоторого источника сообщаемый  $A_1$ , для которого значение энтропии равно  $H_1$ . На выходе обрабатывающей системы можно определить энтропию  $H_2$  как энтропию некоторого другого источника сообщений  $A_2$ . Энтропия на выходе источника  $A_2$  либо совпадает с энтропией источника  $A_1$ , либо не совпадает. Изучение величины изменения энтропии в последнем случае является целью данного доклада. Для простоты рассматриваются дискретные системы и источники сообщений.

Если на выходе источника  $A_1$  множество возможных символов  $X = x_1, x_2, \dots, x_m$  и на выходе источника  $A_2$  множество символов  $Y = y_1, y_2, \dots, y_n$ , то система  $S$  реализует над этими множествами некоторое отображение  $F$ . Если это отображение взаимно однозначное, то  $H_2 = H_1$ , т. е. Значение энтропии не изменяется. К таким системам относятся системы передачи и перекодировки данных. В данном докладе рассматриваются системы, для которых взаимная однозначность отображения не выполняется. В таком случае  $H_2 < H_1$ , т. е. Энтропия уменьшается (предполагается, что внутри системы  $S$  нет дополнительных источников).

В некоторых случаях величина изменения энтропии в системе характеризуется сложностью отображения, и в докладе делается попытка использовать ее в качестве оценки сложности работы системы. Такая оценка отличается тем, что не зависит от технической реализации, а только от сложности отображения, реализуемого данной системой, т. е. Является оценкой по конечному результату.

Обозначив вероятность появления символа  $x_i \in X$  на выходе  $A_1$  через  $\mu_i$  и вероятность появления  $y_j \in Y$  на выходе  $A_2$  через  $\mu_j$ , и вычисляя значения энтропии  $\Delta H = H_1 - H_2$ , легко убедиться, что значения  $\Delta H$  зависит, кроме сложности отображения, также от распределения вероятностей  $\mu_i$ . Для ис-

ключения влияния распределения вероятностей символов источника  $A_1$  значение энтропии целесообразно усреднять по всем возможным распределениям, принимая, что все распределения равновероятные. Тогда полу-

$$H_1 = \int_0^{a_1} \dots \int_0^{a_m} \sum_{i=1}^m \mu_i \lg \mu_i d\mu_1 \dots d\mu_m,$$

чим на выходе источника  $A_1$  среднюю энтропию

$$\sum_{i=1}^m \mu_i = 1, \sum_{j=1}^m a_j = 1$$

Средняя энтропия на выходе источника  $A_2$  по всем распределениям вероятностей входных символов

$$H_2 = \int_0^{a_1} \dots \int_0^{a_m} \sum_{j=1}^m \mu_j \lg \mu_j d\mu_1 \dots d\mu_m,$$

$\mu_j = f_j(\mu_1, \dots, \mu_m)$  - функция от вероятности входных символов системы. Вид функции  $f_j$  определяется типом отображения.

В качестве независимой оценки средней сложности преобразования минимальное возможное значение средней энтропии  $H_{2min}$ . Оно достигается при отображении, разделяющем множество входных символов на два класса с наихудшим распределением — один символ в один класс, а все остальные - в другой. Значение  $H_{2min}$  зависит только от количества элементов множества  $X$ :

$$H_{2min} = \sum_{s=2}^k \frac{1}{2^{k-g+1}} \left( \sum_{r=2}^{\infty} \frac{1}{r^3} - \frac{1}{2^3} \right) \cdot \frac{3}{2^{k+1}},$$

$\geq$

где  $k = \lg m$ ,  $k \geq 2$ .

Оценка средней сложности преобразования производится по отношению к сложности при наипростейшем отображении, возможно при данном количестве элементов множества  $X$ . Тогда относительная средняя слож-

$$D = k \frac{H_2}{H_{2min}}$$

ность преобразования значением

В случае, когда система  $S$  реализует логическую функцию, описываемую одним конъюнктивным (или дизъюнктивным) членом, и число пере-



менных на входе системы  $S$ , равным  $k$ , это выражение дает целочисленные значения  $D=k$ .

В случае, когда система  $S$  состоит из нескольких элементов  $S_i$ , значение  $D_1$  может быть определено для каждого элемента, при этом

$$D_s = \sum_{i=1}^t D_i \geq D,$$

где  $t$  = число элементов в системе.

Неравенство  $D_s > D$  имеет место очень часто, так как символы, поступающие на входы отдельных подсистем, могут быть зависимые. Это означает, что у некоторых электронов используются не все из возможных преобразований. В таком случае можно ввести понятие коэффициента полез-

$$\eta = \frac{D}{D_s}$$

ного действия системы

На основе вышеприведенного произведены:

- вычисление магнитной возможной энтропии на выходе логических схем при количестве входных переменных  $k \leq 100$ ;

- методика определения  $\geq$  эффективности работы комбинационных схем;
- оценка средней сложности арифметических операций.

Доклад иллюстрируется результатами перечисленных.

#### Список литературы:

[1] Дж. Вольфовиц. *Теоремы кодирования теории информации*. М.: «Мир», 1991.

**Горбунов Александр Константинович** – д-р физ.-мат. наук, заведующий кафедрой "Физика" КФ МГТУ им. Н.Э. Баумана. E-mail: kf\_MGTU\_FIZ@mail.ru.

**Скударонова Анна Владимировна** – студент КФ МГТУ им. Н.Э. Баумана. E-mail: annfoxsk@yandex.ru.

А.Н. Потапова, А.К. Горбунов

## ЭНТРОПИЯ СТАЦИОНАРНЫХ ПРОЦЕССОВ.

КФ МГТУ им. Н.Э. Баумана, Калуга, 248000, Россия

I. В данной работе продолжается изучение энтропийных характеристик пространства, на котором введена как метрическая структура, так и вероятностная мера. В предыдущих статьях рассматривалась задача оптимального кодирования, когда все точки пространства, за исключением некоторого множества меры  $\leq \delta$  кодируются одной из точек фиксированного множества  $\{x_i\}$  таким образом, что погрешность кодирования /относительно метрики пространства/ не превышает  $\varepsilon$  / $\varepsilon > 0$ ,  $0 < \delta < 1$ /. В этом случае говорят, что точки множества  $\{x_i\}$  образуют  $(\varepsilon, \delta)$  – сеть в пространстве; логарифм минимального числа элементов  $(\varepsilon, \delta)$  – сети называется  $(\varepsilon, \delta)$  – энтропией рассматриваемого пространства.

Понятие  $(\varepsilon, \delta)$  – энтропии в применении к случайным процессам было фактически введено еще К. Шенноном.

Естественным обобщением введенных ранее энтропийных характеристик метрического пространства с мерой являются рассматриваемые в данной работе энтропийные характеристики метрического пространства, на котором вероятностная структура определяется семейством вероятностных мер. В частности  $(\varepsilon, \delta)$  – энтропия метрического пространства относительно некоторого семейства  $M$  вероятностных мер определяется как логарифм минимального числа точек

$\varepsilon$  – сети множества,  $P$  – мера не меньше, чем  $1 - \delta$  для любой меры  $P \in M$ .

В качестве примера рассматривается пространство функций с квадратичной метрикой, вероятностные меры на котором задаются некоторым семейством гауссовских стационарных процессов.

Для этого семейства вычисляется величина скорости создания сообщений, равная асимптотике  $(\varepsilon, \delta)$  – энтропии на единицу времени.

II. Введем строгие определения рассмотренных в п. I понятий. Пусть  $\gamma$  –  $\sigma$  – алгебра подмножеств непустого множества  $\Omega$ . Для любой совокупности  $U = \{U_i\}$  измеримых множеств и вероятностной меры  $P$ , заданной на  $\gamma$ , положим  $H(U, P) = -\sum_i p_i \log p_i$ , где  $p_i = P(U_i) / \sum_i P(U_i)$ ,  $N(U)$  – мощность /количество элементов/ в совокупности  $U$ . Пусть теперь  $M$  – некоторое семейство вероятностных мер, определенных на  $\gamma$ ,  $\Omega^\circ \in \gamma$ ,  $P(\Omega^\circ) = 1$  для любой меры  $P \in M$ ; симметричная функция потерь  $\rho: \Omega^\circ \times \Omega^\circ \rightarrow [0, \infty)$  /обобщающая понятие метрики/ измерима относительно  $\sigma$  – алгебры  $\gamma \times \gamma$ . Для  $\varepsilon > 0$ ,  $0 < \delta < 1$   $(\varepsilon, \delta)$  – покрытием пространства

$(\Omega, \gamma, M)$  называется такая совокупность  $U = \{U_i\}$  непересекающихся измеримых множеств, что  $P\left(\Omega \setminus \bigcup_i U_i\right) < \delta$  для любой меры  $P \in M$  и  $U_i \subset S(x_i, \varepsilon) \cap \{y_i \in \Omega^\circ : \rho(x_i, y) \leq \varepsilon\}$ ,  $x_i \in \Omega^\circ$  /т.е. радиус каждого множества  $U_i$  не больше, чем  $\varepsilon$  /. В этом случае, когда семейство  $M$  состоит из единственной вероятностной меры  $P$ , приходим к введенному понятию  $(\varepsilon, \delta)$ -покрытия пространства  $(\Omega, \gamma, \{P\})$ . Обозначим через  $U(\varepsilon, \delta, M)$  совокупность всех  $(\varepsilon, \delta)$ -покрытий пространства  $(\Omega, \gamma, M)$  и рассмотрим следующие энтропийные характеристики этого пространства:

$$H^{(1)} = H_{(\Omega, \varpi, M)}^{(1)}(\varepsilon, \delta, \rho) \square \int_{U \in U(\varepsilon, \delta, M)} \log N(U), \quad (1)$$

$$H^{(2)} = H_{(\Omega, \varpi, M)}^{(2)}(\varepsilon, \delta, \rho) \square \sup_{P \in M} \int_{U \in U(\varepsilon, \delta, \{P\})} H(U, P), \quad (2)$$

$$H^{(3)} = H_{(\Omega, \varpi, M)}^{(3)}(\varepsilon, \delta, \rho) \square \sup_{P \in M} \int_{U \in U(\varepsilon, \delta, \{P\})} \log N(U), \quad (3)$$

$$H^{(4)} = H_{(\Omega, \varpi, M)}^{(4)}(\varepsilon, \delta, \rho) \square \sup_{P \in M} \int_{U \in U(\varepsilon, \delta, M)} H(U, P). \quad (4)$$

Легко проверить, что  $H^{(1)} \geq H^{(3)} \geq H^{(2)}$  и  $H^{(1)} \geq H^{(4)} \geq H^{(2)}$ . В том случае, когда семейство  $M$  состоит из единственной вероятностной меры  $P$ , величины  $H^{(1)}$  и  $H^{(2)}$  совпадают с введенными в [4] и [6] энтропийными характеристиками

$$H_{(\Omega, \varpi, P)}^{(1)}(\varepsilon, \delta, \rho) \square \int_{U \in U(\varepsilon, \delta, \{P\})} \log N(U), \quad (5)$$

$$H_{(\Omega, \varpi, P)}^{(2)}(\varepsilon, \delta, \rho) \square \int_{U \in U(\varepsilon, \delta, \{P\})} H(U, P) \quad (6)$$

соответственно. Кроме того, в этом случае, очевидно, что  $H^{(1)} = H^{(3)}$  и  $H^{(2)} = H^{(4)}$ .

III. Будем рассчитывать пространство  $(\Omega_T, \gamma_T, M)$ , порожденное некоторым семейством  $\langle - \rangle = \{\xi(t)\}$  вещественных случайных процессов. Здесь  $\Omega_T$  - пространство всех вещественных функций на  $[0, T]$ ,  $M = M(\langle - \rangle)$  - семейство вероятностных мер, порожденных процессами  $\xi(t) \in \langle - \rangle$  на минимальной  $\sigma$ -алгебре  $\gamma_T$ , содержащей цилиндрические множества из  $\Omega_T$ , а симметричная функция потерь  $\rho_T : \Omega^\circ \times \Omega^\circ \rightarrow [0, \infty)$  измерима относительно  $\sigma$ -алгебры  $\gamma_T \times \gamma_T$ , где  $\Omega_T^\circ \in \gamma_T$ ,  $P_\xi(\Omega_T^\circ) = 1$  для любого  $\xi \in \langle - \rangle$ . Положим:

$$H_{\langle - \rangle}^{(1)}(\varepsilon, \delta, \rho_T) = H_{(\Omega_T, \gamma_T, M_{(\langle - \rangle)})}^i(\varepsilon, \delta, \rho_T), \quad i=1+4. \quad (7)$$

В том случае, когда семейство  $\langle - \rangle$  состоит из единственного элемента  $\xi(t)$ ,  $-\infty < t < \infty$ , причем  $\xi(t)$  - стационарный непрерывный процесс, а функция потерь  $\rho_T$  имеет вид

$$\rho_T(x, y) = T^{-1} \int_0^T d(x(t), y(t)) dt, \quad x, y \in \Omega_T^\circ \quad (8)$$

при естественных предположениях о функции  $d$  было доказано, что

$$\lim_{T \rightarrow \infty} T^{-1} H_{\xi}^{(1)}(\varepsilon, \delta, \rho_T) = R(\varepsilon), \quad i=1, 2, \quad (9)$$

где  $R(\varepsilon) = R_{\xi}(\varepsilon, \rho_T)$  - скорость создания сообщений процессом  $\xi(t)$  при критерии качества  $M \rho_T(\xi, \tilde{\xi}) \leq \varepsilon$ . Поэтому естественно ввести следующее

Определение. Скоростью создания сообщений семейством  $\langle - \rangle$  случайных процессов при условии  $\varepsilon$  - близости относительно функции потерь  $\rho_T$  называется общий предел /если он существует/:

$$\lambda(\varepsilon) = \lim_{T \rightarrow \infty} T^{-1} H_{\langle - \rangle}^{(1)}(\varepsilon, \delta, \rho_T) = \lim_{T \rightarrow \infty} T^{-1} H_{\langle - \rangle}^{(2)}(\varepsilon, \delta, \rho_T). \quad (10)$$

Далее в качестве  $\langle - \rangle$  рассматривается семейство  $\langle - \rangle(g)$  гауссовских стационарных процессов  $\xi(t)$ ,  $-\infty < t < \infty$ , имеющих такую спектральную плотность  $f(u)$ , что для некоторой фиксированной функции  $g(u) \in L_1^+$  и  $w > 0$  выполняется соотношение

$$\int_{-\infty}^{\infty} f(u)/g(u) du \leq W \quad (11)$$

/при этом считаем, что  $0/0=0$  /. Последнее неравенство задает класс случайных процессов в ограниченной взвешенной сумме мощностей гармоник, входящих в процесс. Эти случайные процессы получаются на выходе линейного фильтра с частотной характеристикой  $\sqrt{g(u)}$ , на выход которому подаются различные гауссовские стационарные процессы, мощности которых не превосходят  $W$ .

Теорема. Скорость создания сообщений  $\lambda(\varepsilon)$  семейством  $\langle - \rangle(g)$  гауссовских стационарных процессов при условии  $\varepsilon$  - близости относительно функции потерь

$$\rho_T = \rho_T^{(2)}(x, y) = T^{-1} \int_0^T |x(t) - y(t)|^2 dt \quad (12)$$

определяется из соотношения

$$\lambda(\varepsilon) = \frac{1}{2} \int_{-\infty}^{\infty} \left( \log g(u) / \varepsilon^2 \right)_+ du, \quad (13)$$

где  $(a)_+ = \max(a, 0)$ .

### Список литературы

1. *Шеннон К.* Работы по теории информации и кибернетике. Москва, Издательство иностранной литературы, 1963.

**Горбунов Александр Константинович** – д-р физ.-мат. наук, заведующий кафедрой "Физика" КФ МГТУ им. Н.Э. Баумана. E-mail: kf\_MGTU\_FIZ@mail.ru.

**Потапова Анна Николаевна** – студент КФ МГТУ им. Н.Э. Баумана. E-mail: viky-60@yandex.ru.

## СОДЕРЖАНИЕ

### СЕКЦИЯ 9.

#### **ГИДРАВЛИЧЕСКИЕ МАШИНЫ, ГИДРОПНЕВМОАВТОМАТЫ..... 3**

*Гусев И.В., Чубаров Ф.Л., Кирюхин А.А.*

Оптимизация производительности конденсаторов турбогенераторных установок малой и средней мощности ..... 4

*Абрамов Н.Е., Костюков И.С.*

Регулирование производительности турбодетандеров ..... 8

*Жукова О.И., Панаиотти С.С.*

Шнекоцентробежный насос с полуспиральным подводом ..... 12

### СЕКЦИЯ 10.

#### **ИНФОРМАЦИОННЫЕ ТЕХНОЛОГИИ ..... 16**

*Гагарин Ю.Е., Гриценко Н.С., Зайцева Н.В.*

Прогнозирование объема реализации услуг при учете случайного характера фактора температуры наружного воздуха ..... 17

*Белов Ю.С., Силаков И.С.*

Material design ..... 24

*Борцова Е.И., Потапов А.Е., Данилкина А.С.*

Автоматизированные библиотечные информационные системы..... 28

*Вершинин В.Е., Жуков А.К.*

Варианты модернизации волоконно-оптических линий связи ..... 31

*Шароварко А.Н., Коршунова А.А., Потапов А.Е.*

Инструменты разработки мобильных приложений под управлением операционной системы Windows 8..... 34

*Воронцов А.Н., Белов Ю.С.*

Понятийный аппарат системы частиц компьютерной графики..... 37

*Карышев А.А.*

Разработка автоматизированной системы заказа видеоконференций..... 40

*Белов Ю.С., Силаков И.С.*

Разработка нативных приложений для Blackberry OS 10 ..... 44

*Данилкина А.С., Борцова Е.И., Потапов А.Е.*

Сегментация в цветовом пространстве RGB..... 47

*Дикан И.В., Гагарин Ю.Е.*

Современный подход к улучшению архитектуры ЦП..... 50

<b>СЕКЦИЯ 11.</b>	
<b>ПРОБЛЕМЫ СОВРЕМЕННОЙ ТВЕРДОТЕЛЬНОЙ ЭЛЕКТРОНИКИ .....</b>	<b>54</b>
<i>Пономарев С.В.</i>	
Компьютерное моделирование термического расширения ферромагнитных полупроводников $ACr_2X_4$ .....	55
<i>Косушкин В.Г., Кулагина Н.С.</i>	
Наноинженерия в регенеративной медицине, состояние и проблемы .....	58
<i>Косушкин В.Г., Попова К.</i>	
Основные материалы наноэлектроники .....	62
<i>Белоусова Е.В., Косушкин В.Г.</i>	
Основные направления использования наноинженерии в электронике .....	65
<b>СЕКЦИЯ 12.</b>	
<b>ЗАЩИТА ИНФОРМАЦИИ.....</b>	<b>70</b>
<i>Мазин А.В., Клочко О.С.</i>	
Анализ методов противодействия угрозам и атакам на вычислительные системы .....	71
<i>Мазин А.В., Клочко О.С., Макаров А.С.</i>	
Использование пакетов прикладных программ для анализа статистических данных при прогнозировании компьютерных атак на вычислительные системы .....	77
<i>Лаптев С.В., Калугин А.В.</i>	
Обеспечение информационной безопасности при использовании навигационно-мониторинговых систем ГЛОНАСС/GPS в МВД России .....	82
<i>Синотова О.В.</i>	
Сравнительные характеристики антивирусных программ .....	90
<i>Хмельницкая Е.Е., Москвина А.А., Лачихина А.Б.</i>	
Уязвимости SQL Server .....	98
<i>Хорошилова М.А., Лачихина А.Б.</i>	
Уязвимости Интернет браузеров и меры по их нейтрализации .....	107
<i>Бланк Я.А., Клочко О.С.</i>	
Mathcad как средство анализа данных в области информационной безопасности .....	114
<i>Бухман В.Л., Клочко О.С.</i>	
Анализ программного продукта, обеспечивающего помехоустойчивость при передаче информации .....	119

<i>Шаман И.А., Кашин В.В.</i>	
Вопросы повышения точности регистрации длительности однополярных сигналов.....	122
<i>Пью Мьинт Вей, Мазин А.В.</i>	
Разработка алгоритма расчета модуля юнга вольфрамово - медных псевдосплавов .....	127
<i>Пью Мьинт Вей</i>	
Разработка способа изготовления вольфрамово - медного псевдосплава .....	132
<i>Ньейн Чан</i>	
Способ увеличения долговечности гелий-неонового лазера.....	134
<i>Коваленко Е.А., Клочко О.С.</i>	
Сравнительный анализ систем компьютерной алгебры .....	137
<i>Гаврикова Н.А.</i>	
Средства получения экологической информации для предприятий Калужской области .....	141
<i>Кухарева А.А.</i>	
Стеганография и дестеганография. Обзор.....	143
<i>Ньейн Чан, Мазин А.В.</i>	
Увеличение срока службы пленочного холодного катода гелий-неонового лазера .....	146
<i>Макарова А.Ю.</i>	
Уязвимости программных продуктов компании Microsoft .....	149
<b>СЕКЦИЯ 13.</b>	
<b>ДИНАМИКА, ПРОЧНОСТЬ И НАДЕЖНОСТЬ ПОДЪЕМНО- ТРАНСПОРТНЫХ, СТРОИТЕЛЬНЫХ, ДОРОЖНЫХ МАШИН И ОБОРУДОВАНИЯ .....</b>	<b>152</b>
<i>Заярный С.Л., Потапов Д.В.</i>	
К вопросу исследования долговечности соединений металлоконструкций в условиях нестационарного нагружения с учетом различных механизмов повреждаемости их элементов.....	153
<i>Заярный С.Л.</i>	
К вопросу применение конических соединений в приводных механизмах грузоподъемных кранов .....	165
<i>Витчук П.В., Грачева Е.В., Осницкий А.В, Федоров А.В.</i>	
Критический анализ некоторых методов испытаний лифтов .....	174
<i>Рыжкова А.Д., Шубин А.А.</i>	
Многофункциональный комплекс для восстановления и ремонта контактной сети на железной дороге .....	182



<i>Заярный С.Л.</i>	
Сравнительная оценка показателей качества соединений элементов приводных механизмов грузоподъемных кранов .....	188
<i>Сероштан В.И., Гаах Т.В., Долгов К.А.</i>	
Диагностирование металлоконструкции козлового крана с применением акустической эмиссии контроля .....	196
<i>Плахова Е.А., Заярный С.Л.</i>	
Комбинированная дорожная техника .....	200
<i>Сероштан В.И., Подгорбунский В.А.</i>	
Применение метода акустической эмиссии для диагностирования металлоконструкций грузоподъемных машин.....	203
<i>Ермоленко В.А., Лесовский И.О.</i>	
Расчёт усилия затяжки гайки для фиксации эксцентричной оси ходовых колёс .....	207
<b>СЕКЦИЯ 14.</b>	
<b>ФИЗИКО-МАТЕМАТИЧЕСКИЕ И ХИМИКО-ТЕХНОЛОГИЧЕСКИЕ ПРОБЛЕМЫ ПРОЕКТИРОВАНИЯ СЛОЖНЫХ ТЕХНИЧЕСКИХ СИСТЕМ .....</b>	<b>210</b>
<i>Кирюхина Н.В., Горбунов А.К., Силаева Н.А.</i>	
Моделирование конвективного теплообмена в призматических каналах с различной геометрией сечения.....	211
<i>Горбунов А.К., Куликов А.Н., Цаплина С.Ф.</i>	
О гидродинамической дисперсии при фильтрации в слоистой и клинообразной области.....	217
<i>Лысенко А.Л., Лысенко С.Л.</i>	
Проблемы функционирования катализаторов, утилизирующих водород в атомных энергетических установках .....	221
<i>Калманович В.В., Степович М.А., Серегина Е.В., Горбунов А.К.</i>	
Распределение неосновных носителей заряда после их диффузии от тонкого планарного источника в полубесконечном проводниковом материале с дефектами на поверхности.....	226
<i>Радченко И.Н., Безбах И.Ж., Мясников Б.Н.</i>	
Расчет дифракции отражённых электронов на монокристалле .....	237
<i>Куликов А.Н., Горбунов А.К., Овчаренко И.Н.</i>	
Стационарная гидродинамическая дисперсия в многослойных пластах с растворимой подошвой.....	242
<i>Радченко И.Н., Безбах И.Ж., Захаров Б.Г., Стрелов В.И.</i>	
Установка для выращивания кристаллов белков в земных и космических условиях с активным управлением процессом кристаллизации.....	247

<i>Горбунов А.К., Карпов В.И.</i> Верхние границы вероятности ошибки при передаче с обратной связью для дискретных каналов без памяти.....	255
<i>Горбунов А.К., Цаплина С.Ф.</i> Выбор кодов для обнаружения ошибок в системах с решающей обратной связью .....	257
<i>Горбунов А.К., Колянова А.А.</i> Выбор структуры сети автоматов усредненной энтропии внутренних состояний .....	260
<i>Корабельникова Ю.В., Горбунов А.К.</i> Измерение параметров квантовых сигналов .....	262
<i>Горбунов А.К., Волчёнков Д.Н.</i> Использование кодов в каналах с памятью .....	264
<i>Горбунов А.К., Волчёнков Д.Н.</i> Исправление дефектов с простой реализацией.....	267
<i>Горбунов А.К., Баранникова И.В.</i> К вопросу об адаптивном распознавании образов .....	270
<i>Рыскина Е.Б., Горбунов А.К.</i> Коды с заданными ранговым и хэмминговским расстояниями .....	272
<i>Горбунов А.К., Гвоздков С.А.</i> Косвенное изменение квантового электромагнитного сигнала с помощью гомодинного приема.....	275
<i>Горбунов А.К., Жигачев А.С.</i> Метод расчета характеристик систем одностороннего и двустороннего действия с обратной связью, основанный на использовании некоторых результатов теории графов.....	278
<i>Горбунов А.К., Лутовин Е.А.</i> Наилучшие оценки сверху для основных параметров физических сигналов.....	280
<i>Горбунов А.К., Корабельникова Ю.В.</i> О некоторых результатах в теории последовательного оценивания.....	283
<i>Горбунов А.К., Дрожняк Д.И.</i> О применении матричных производящих функций к оценке верности передачи информации .....	286
<i>Горбунов А.К., Дрожняк Д.И.</i> О сложности фрагментного представления цифровых массивов .....	289
<i>Горбунов А.К., Прокофьев М.Л.</i> О стоимости передачи сообщений по каналу без шума.....	292

<i>Горбунов А.К., Жучкова А.Д.</i> Обнаружение сигналов на фоне помех .....	294
<i>Горбунов А.К., Шумакова А.О.</i> Обнаружение сигналов на фоне помех .....	297
<i>Горбунов А.К., Салова В.Ю.</i> Передача сигналов в условиях марковских помех .....	300
<i>Горбунов А.К., Осмоловский К.Е.</i> Переходные процессы в системах адаптивной импульсно-кодовой модуляции .....	303
<i>Упоров Е.И., Горбунов А.К.</i> Построение оценки максимального правдоподобия для искаженных дискретных последовательностей .....	305
<i>Горбунов А.К., Абдурахманов А.Ш.</i> Применение теории информации в одной модели метода случайного баланса.....	308
<i>Горбунов А.К., Цаплина С.Ф.</i> Синтез преобразования векторного сообщения.....	311
<i>Горбунов А.К., Абдурахманов А.Ш.</i> Состоятельные линейные регрессионные оценки .....	314
<i>Горбунов А.К., Хрустова А.Г.</i> Элементы теории оптимизированной дельта - модуляции с демодуляцией на основе вторых разностей.....	317
<i>Горбунов А.К., Скударонова А.В.</i> Энтропия и оценка структуры .....	319
<i>Потапова А.Н., Горбунов А.К.</i> Энтропия стационарных процессов .....	322
<b>СОДЕРЖАНИЕ</b> .....	326

**НАУКОЕМКИЕ ТЕХНОЛОГИИ  
В ПРИБОРО - И МАШИНОСТРОЕНИИ  
И РАЗВИТИЕ ИННОВАЦИОННОЙ  
ДЕЯТЕЛЬНОСТИ В ВУЗЕ**

**Материалы  
Всероссийской научно-технической конференции**

**Том 3**

*Научное издание*

Все работы публикуются в авторской редакции. Авторы несут ответственность за подбор и точность приведенных фактов, цитат, статистических данных и прочих сведений

Подписано в печать 19.11.2014.  
Формат 60x90/16. Печать офсетная. Бумага офсетная. Гарнитура «Таймс».  
Печ. л. 20,75. Усл. п. л. 19,3. Тираж 60 экз. Заказ № 148

Издательство МГТУ им. Н.Э. Баумана  
107005, Москва, 2-я Бауманская, 5

Оригинал-макет подготовлен и отпечатан в Редакционно-издательском отделе  
КФ МГТУ им. Н.Э. Баумана  
248000, г. Калуга, ул. Баженова, 2, тел. 57-31-87