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»

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

Материалы
Региональной научно-технической конференции

Том 3

ИЗДАТЕЛЬСТВО
МГТУ
им. Н. Э. Баумана
Калуга 2015

УДК 378:001.891
ББК 74.58:72
Н34

Руководитель конференции:
С.А. Кусачева (председатель совета по НИР студентов и аспирантов)

Руководители направлений:
А.И. Пономарев (ф-т КМК), *Ю.С. Белов* (ф-т ФНК), *М.Ю. Адкин* (ф-т ЭИУК), *А.Г. Вяткин* (ф-т МТК), *О.А. Артеменко* (ф-т СЭК)

Руководители секций:
Е.Н. Малышев, Г.В. Орлик, В.В. Андреев, А.А. Жинов, Ю.П. Корнюшин, Н.Е. Шубин, А.И. Пономарев, А.К. Рамазанов, А.А. Анкудинов, Б.М. Логинов, В.Г. Косушкин, А.В. Мазин, А.А. Шубин, А.К. Горбунов, А.В. Максимов, В.Н. Пащенко, М.В. Астахов, Е.Н. Сломинская, О.Л. Перерва, Г.И. Ловецкий, А.Ю. Красноглазов, В.М. Алакин

Н34 **Наукоемкие технологии в приборо- и машиностроении и развитие инновационной деятельности в вузе:** материалы региональной научно-технической конференции, 21–23 апреля 2015 г. Т. 3. – М. : Издательство МГТУ им. Н. Э. Баумана, 2015. – 212 с.

ISBN 978-5-7038-4164-8 (т. 3)
ISBN 978-5-7038-4161-7

В сборнике материалов Региональной 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 978-5-7038-4164-8 (т. 3)
ISBN 978-5-7038-4161-7

© Коллектив авторов, 2015
© Калужский филиал МГТУ им. Н. Э. Баумана
© Издательство МГТУ им. Н. Э. Баумана, 2015

СЕКЦИЯ 11.

ПРОБЛЕМЫ СОВРЕМЕННОЙ ТВЕРДОТЕЛЬНОЙ ЭЛЕКТРОНИКИ

В.Г. Дмитриев, Е.Б. Баскаков, В.С. Зайончковский

ИССЛЕДОВАНИЕ РЕЛЬЕФА ПОВЕРХНОСТИ ТОНКИХ ПЛЕНОК МЕТАЛЛОВ, НАНЕСЕННЫХ МЕТОДОМ МАГНЕТРОННОГО РАСПЫЛЕНИЯ НА ПЛАСТИНЫ МОНОКРИСТАЛЛИЧЕСКОГО КРЕМНИЯ

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

Высокие темпы развития таких наукоемких отраслей, как электроника, требуют непрерывного повышения качества и эксплуатационных свойств покрытий. Реализация этих требований напрямую зависит от достижений в разработке и конструировании оборудования и совершенствования технологий получения тонких пленок.

Одним из самых передовых методов нанесения пленочных покрытий металлов и диэлектриков является метод магнетронного напыления. Качество получаемых металлических покрытий существенно влияет на слои других металлов, а также полупроводников и диэлектриков, входящих в структуру изделий микроэлектроники. Этим методом можно получать пленки практически любых металлов. Качество получаемых пленок определяется степенью адгезии к нижележащим слоям, величиной электросопротивления, предельной толщиной пленок, достигаемой без появления трещин. Малоисследованным параметром полученных пленок является шероховатость [1].

Нами проведено исследование морфологии поверхности тонких пленок титана и комбинированной пленки, полученной без разгерметизации рабочей камеры. Комбинированная пленка представляет собой пленку меди, нанесённой на поверхность пленки титана, в свою очередь, нанесенную на поверхность пластины монокристаллического эпитаксиального кремния. Цель исследования – определить шероховатость этих пленок методом сканирующей атомно-силовой микроскопии.

Образцом сравнения являлась поверхность пластины кремния, закрываемая маской во время процесса напыления. На рис. 1 представлено изображение поверхности монокристалла кремния, на которую не попадали атомы с распыляемой мишени.

Данные рис. 1 свидетельствуют, что профиль поверхности содержит два вида неровности. Первый вид - волна с большей длиной волны (~2 мкм) и удвоенной амплитудой (~30 нм). Второй вид – волна, характеризующаяся перепадом высот на уровне (~3 нм). На рис. 2 представлено изображение поверхности титана, нанесённого на поверхность того же монокристалла кремния, что и на рис. 1. Просмотр этого скана, позволяет сделать вывод, что волна с большим перепадом высот имеет длину волны то-

же (~2 мкм), но перепад высот уже не более 10 нм, в то время как перепад высот с малой длиной волны не превышает 3 нм.

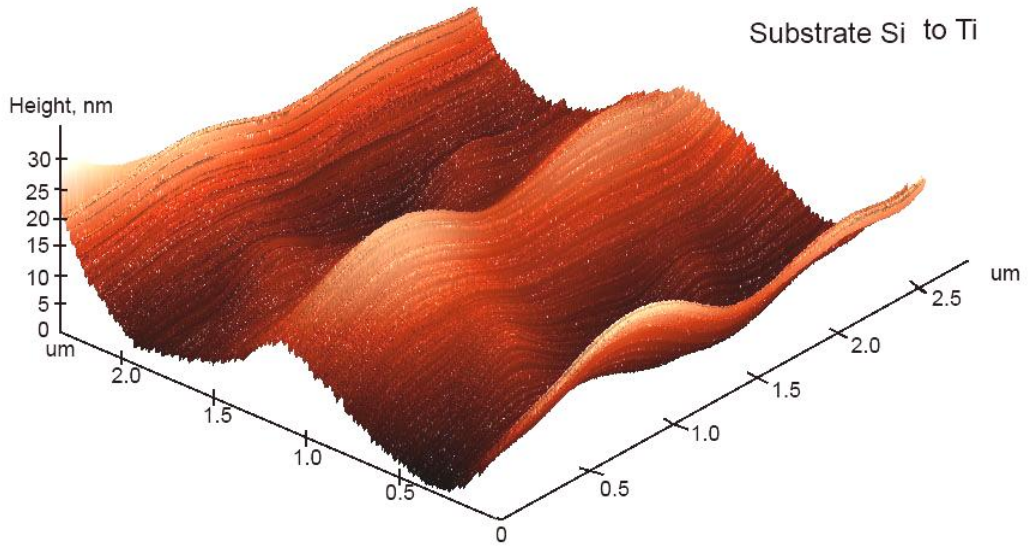


Рис. 1 Поверхность исходного кремния

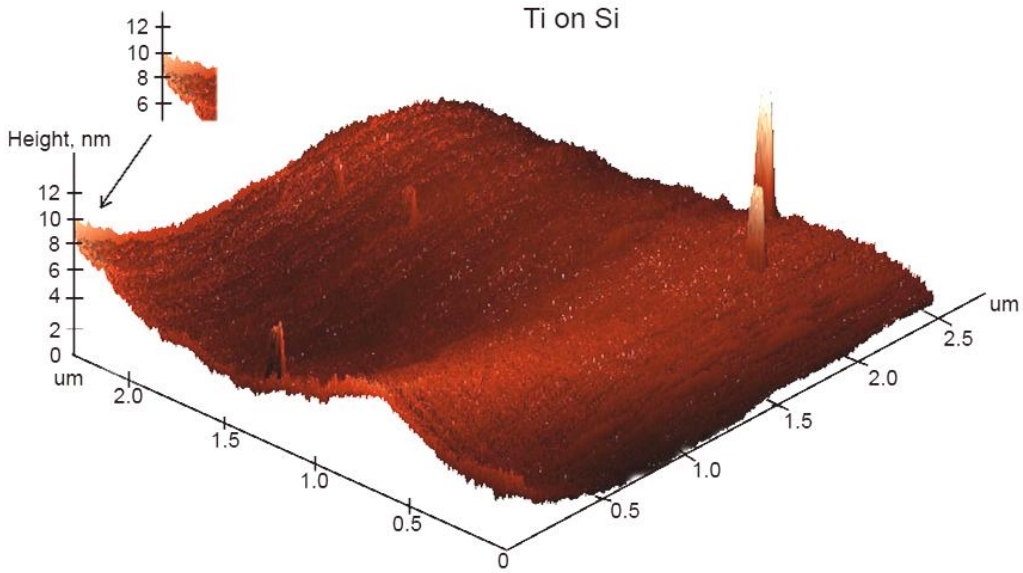


Рис. 2 Поверхность пленки Ti на поверхности монокристаллической подложке кремния

Из скана на рис.2 можно сделать вывод, что при магнетронном напылении титана со скоростью, не превышающей 6,5 нм/мин, при температуре подложки не более 300°C образуется либо аморфная, либо нанокристаллическая структура пленки с возможными размерами кристаллитов не более 3 нм. Из скана на рис.3 можно сделать аналогичный вывод, что при магнетронном напылении меди на слой титана со скоростью, не превы-

шающей 30 нм/мин, при температуре подложки не более 300°С образуется либо аморфная, либо нанокристаллическая структура пленки с возможными размерами кристаллитов не более 2 нм.

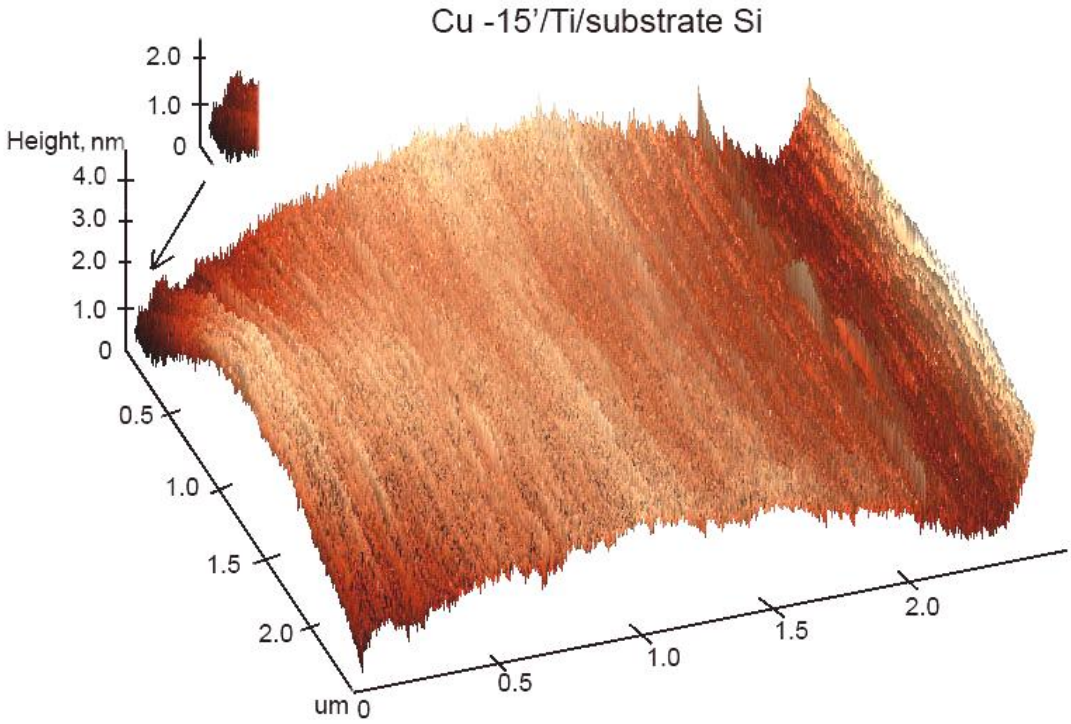


Рис. 3 Двойная пленка – пленка Cu на поверхности пленки Ti, напылённой на монокристаллическую подложку кремния

Из полученных результатов можно сделать выводы, что исследованные пленки находятся в аморфном или поликристаллическом состоянии, с размерами кристаллитов не более 3 нм.

ЛИТЕРАТУРА

[1]. Бабаев В.А., Муслимов А.Э., Буташин А.В. Атомно-силовая микроскопия в изучении шероховатости сверхгладкой кристаллической поверхности и разработке технологии сапфировых подложек с регулярным микрорельефом. Вестник Социально-педагогического института, 2013, № 1 (6), с. 2 –3.

Дмитриев Виктор Геннадьевич — аспирант КФ МГТУ им. Н.Э. Баумана. E-mail: victor116@ya.ru.

Баскаков Евгений Борисович – студент КФ МГТУ им. Н.Э. Баумана. E-mail: baskak92@gmail.com.

Зайончковский Вячеслав Станиславович – канд. физ.-мат. наук, доцент КФ МГТУ им. Н.Э. Баумана. E-mail: vz48@post.ru.

Е.Б. Баскаков, В.С. Зайончковский, П.А. Быков

ОБРАЗОВАНИЕ КЛАСТЕРОВ ТРЕЩИН В ПРИГРАНИЧНЫХ ОБЛАСТЯХ ТОНКИХ ПЛЕНОК СПЛАВОВ FE-CR-CO

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

В современном технологическом мире качество очень многих изделий определяется качеством тонких поверхностных слоев материалов. Поэтому очень важным является знание видов дефектов, которые могут формироваться в данных поверхностных слоях. Есть такие дефекты, которые не сильно влияют на эксплуатационные характеристики изделий, но есть такие, которые могут приводить к катастрофическим последствиям.

В более ранней работе мы сообщали об обнаружении с помощью конфокального микроскопа «Nanofocus» неоднородных деформаций подложек на границе пленочных покрытий, наносимых с помощью различных технологий, [1].

Нанесение сложных, многокомпонентных металлических пленок, возможно только методом магнетронного напыления. В данной работе были получены пленки состава Fe-Co-Cr в следующих условиях – напряжение разряда (420⇗500) В, ток разряда – 2 А, давление аргона в камере – (10-2⇗10-1) Па. После получения пленки были подвергнуты термообработке в форвакууме – с давлением не выше, чем 1 Па. В некоторых пленках вблизи края – границы с чистой поверхностью кремния наблюдались кластеры трещин – рис. 1. На этом же рисунке представлена шкала объект-микрометра отраженного света (ОМО), у которой расстояние между двумя ближайшими штрихами составляет 10 мкм. Таким образом, можно оценить размеры кластеров (50⇗100) мкм и их латеральное расположение от границы пленка-подложка – (150⇗350) мкм. На рис.1 непокрытая область подложки располагается правее шкалы ОМО.

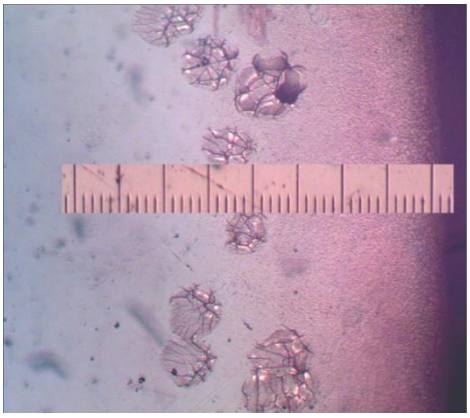


Рис. 1 Массив кластеров трещин

На рис. 2 показан один из кластеров трещин, на периферии которого расположены части шкалы ОМО. По виду трещин отходящих от кластера на периферию, можно сделать вывод, что разрушение материала произошло вследствие локального растяжения на концентраторе напряжений – неоднородно деформированном краю пленки. Это растяжение могло быть создано, на наш взгляд, газом, который захвачен пленкой при ее росте.

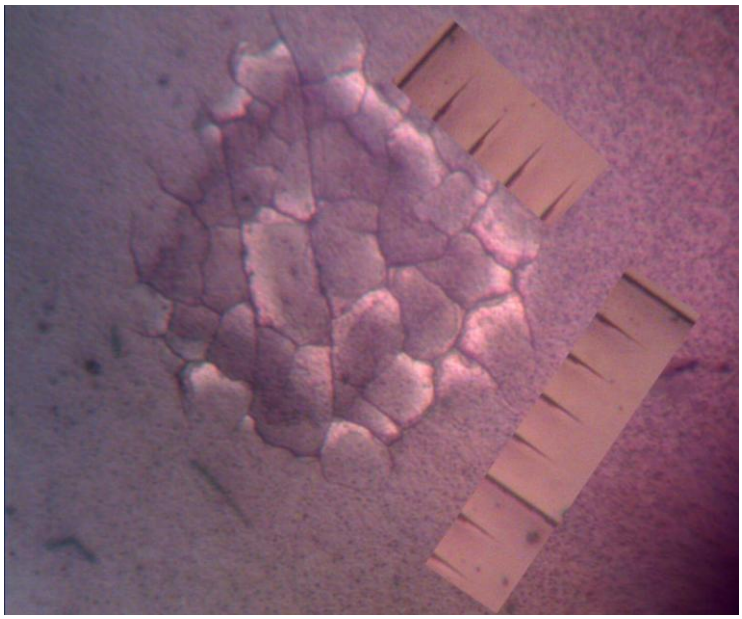


Рис. 2 Одиночный кластер

Авторы выражают благодарность Миляеву Игорю Матвеевичу (Институт металлургии и материаловедения им. А.А. Байкова РАН) за поддержку и материал мишени, а Колупаеву Игорю Николаевичу (Харьковский Политехнический Институт) за полезные обсуждения и советы.

ЛИТЕРАТУРА

[1]. Захаров П.С., Зайончковский В.С., Баскаков Е.Б. Исследование границы металлизации микроэлектронных структур с помощью конфокальной микроскопии. Инженерный журнал: наука и инновации, 2013, вып. 6. URL: http://engjournal.ru/catalog/nano/hidden/808.html

[2]. Мацокин В.П. Релаксация напряжений с образованием дислокаций и трещин при формировании контакта между разнородными кристаллами. Физика твердого тела, 1993, № 9 , с. 2455-2465.

Баскаков Евгений Борисович – студент КФ МГТУ им. Н.Э. Баумана. E-mail: baskak92@gmail.com.

Зайончковский Вячеслав Станиславович – канд. физ.-мат. наук, доцент КФ МГТУ им. Н.Э. Баумана. E-mail: vz48@post.ru.

Быков Павел Андреевич – студент КФ МГТУ им. Н.Э. Баумана. E-mail: pawel.byckoff@yandex.ru.

УДК 536.77, 544.34

С.С. Стрельченко, Н.Ю. Козлов

ТЕРМОДИНАМИЧЕСКАЯ МОДЕЛЬ ЛЕГИРОВАНИЯ АРСЕНИДА ГАЛЛИЯ БЕРИЛЛИЕМ

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

В работе развита термодинамическая модель поведения бериллия в основных модификациях газофазной эпитаксии арсенида галлия. Впервые получены количественные соотношения для коэффициента вхождения бериллия в эпитаксиальные слои арсенида галлия в широком диапазоне технологических параметров роста.

Ключевые слова: *легирование, бериллий, эпитаксиальные слои арсенида галлия, газофазная эпитаксия.*

Введение. Функционирование подавляющего числа полупроводниковых приборов требует получения *p*-*n*-гомо – или гетеропереходов. При этом задача получения заданного типа проводимости не сводится к простому выбору соответствующих легирующих элементов, а требует учета ряда их фундаментальных и технологических свойств. В частности, для достижения свойств конкретных типов приборов на основе выращиваемых эпитаксиальных структур необходимо учитывать энергию ионизации легирующей примеси, пределы её растворимости, коэффициенты твердотельной диффузии, летучести и наличие так называемого «эффекта памяти». В случае осуществления эпитаксиального роста в модификациях с «горячими» стенками, существенное внимание должно быть также уделено возможности протекания побочных, «паразитных» реакций исходных компонентов с конструкционным материалом эпитаксиального реактора. К сожалению, до последнего времени эти процессы исследовались только качественно, что связано с трудностями проведения термодинамических расчетов [1] для многокомпонентных и многофазных систем.

Все вышеуказанные замечания в полной мере относятся и к изучению процессов легирования эпитаксиальных слоев арсенида галлия бериллием, который, несмотря на свою высокую токсичность, обладает существенными преимуществами перед другими примесями, дающими дырочный тип проводимости [2,3].

Цель настоящей работы состояла в разработке термодинамической модели процессов легирования эпитаксиальных слоев арсенида галлия бериллием с учетом реакций с конструкционным материалом реактора – кварцем.

Термодинамическая модель. Рассматривалась термодинамическая система Si-O-H-Cl-Ga-As-Be. В ряде работ [4,5,6] исследовались частные случаи этой системы (Si-H-Cl; Si-C-Cl-H, Si-C-Cl-H-O; Si-O-H-Cl-Ga), что позволило нам в качестве первого приближения ограничиться следующими химическими формами в газовой фазе: As_2, As_4, $AsCl_3$, AsH_3, AsO, AsO_2, Be, Be_2, BeCl, $BeCl_2$, Be_2Cl_4, BeClOH, BeH, BeH_2, BeO, Be_2O, Be_2O_2, Be_3O_3, Be_4O_4, Be_5O_5, Be_6O_6, BeOH, $Be(OH)_2$, Cl, Cl_2, Ga, Ga_2, GaAs, GaCl, $GaCl_2$, $GaCl_3$, Ga_2Cl_2, Ga_2Cl_4, GaH, GaO, Ga_2O, GaOH, H_2, HCl, HClO, HO, HO_2, H_2O, H_2O_2, HOCl, O, O_2, Si, Si_2, Si_3, SiCl, $SiCl_2$, $SiCl_3$, $SiCl_4$, SiH, SiH_2, SiH_3, SiH_4, Si_2H_4, Si_2H_6, SiHCl, $SiHCl_3$, SiH_2Cl_2, SiH_3Cl, SiO, SiO_2, Si_2O_2.

В конденсированной фазе предполагалось наличие трех фаз: SiO_2, GaAs, Be В связи с большим количеством предполагаемых компонентов расчет равновесного состава осуществлялся методом минимизации свободной энергии Гиббса системы [7]:

$$\frac{G}{RT} = \sum_i n_i \left[C_i + \alpha \ln\left(\frac{n_i}{n}\right)\right] = \min, \qquad (1)$$

где: G,R,T – свободная энергия Гиббса всей системы, газовая постоянная и абсолютная температура, соответственно; n – число молей всех веществ в газовой фазе; n_i – число молей i-го соединения; α =1 или 0 для газовой и твердой фазы соответственно; C_i – безразмерная функция температуры и давления системы.

$$C_i = \left(\frac{G_i^0}{RT}\right) + \alpha \ln(p), \qquad (2)$$

где: G_i^0 – мольная энергия Гиббса в стандартном состоянии; p – относительное значение общего давления системы к давлению в стандартном состоянии (т.е. к 1 атм).

Мольные доли n_i связаны друг с другом законом сохранения массы:

$$\sum_i n_i^0 a_i k = \sum_i n_i a_i k, \qquad (3)$$

где: k = 1,2,3,…,M; M – число элементов; n_i^0 – число молей i-го компонента на входе; $a_i k$ – коэффициент состава, т.е. число атомов k-го элемента в i-ом соединении.

Численные расчеты проводились в диапазоне температур 900 – 1200 К при различных значениях сохраняемого параметра $\frac{\mathrm{Cl}}{\mathrm{H}}$ в пакете прикладных программ HSC Chemistry 5.1.

Результаты и их обсуждение. В работе было получено большое число данных по равновесному составу газовой фазы изучаемой системы в широком диапазоне технологических параметров роста эпитаксиальных слоев арсенида галлия в хлоридно – гидридной модификации. На рисунке 1 приведена типичная зависимость, отражающая полученные закономерности.

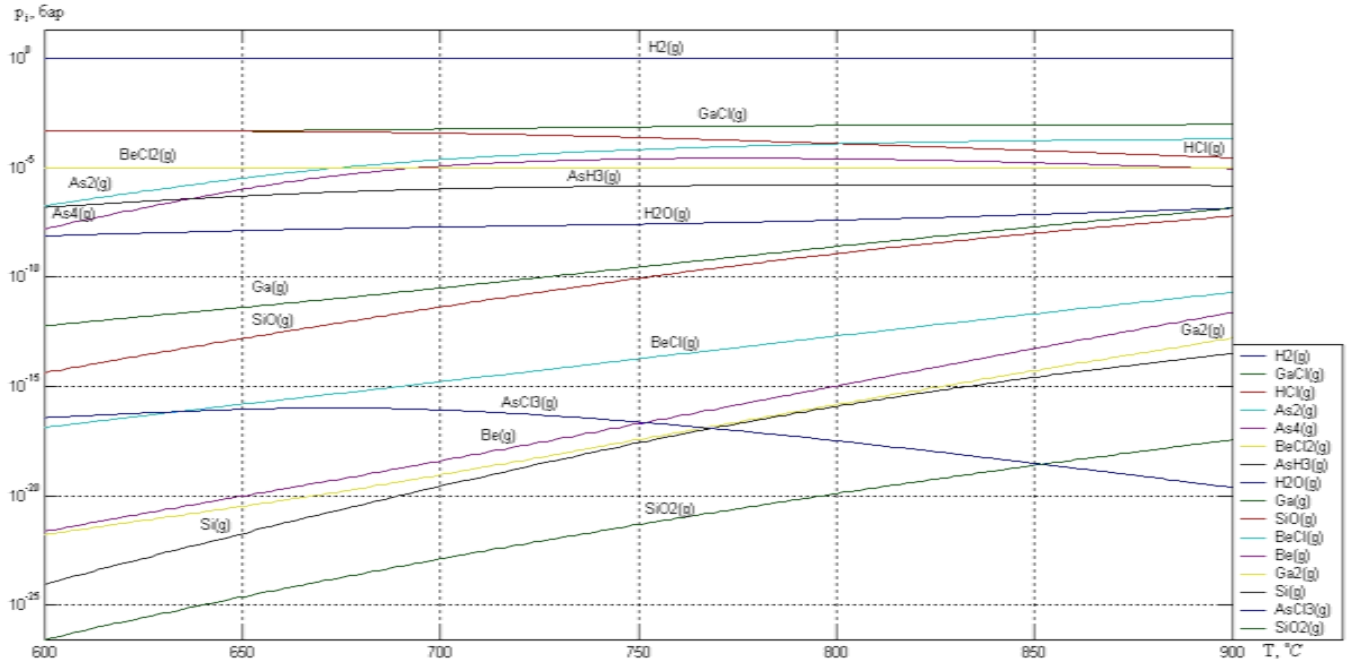


Рис. 1. Температурная зависимость равновесного состава в газовой фазе системы Si-O-H-Cl-Ga-As-Be (Исходный состав системы: $AsH_3^{(г)} = 5\cdot10^{-4}$ кмоль, $GaCl^{(г)} = 10^{-3}$ кмоль, $H_2^{(г)} = 1$ кмоль, $SiO_2^{(тв)} = 1$ кмоль, $GaAs^{(тв)} = 1$ кмоль, $Be^{(тв)} = 10^{-5}$ кмоль)

В частности, разность парциальных давлений BeCl(g) в температурном диапазоне 850 – 650 °C приводит к появлению фазы твердого бериллия. Использование данных для системы осаждения арсенида галлия позволило осуществить уровень легирования бериллием величиной $6\cdot10^{18}$ см$^{-3}$.

Выводы. В работе впервые проведен комплексный термодинамический анализ системы роста арсенида галлия, легированного бериллием. Полученные зависимости позволили определить диапазон приемлемых технологических параметров для получения уровня легирования арсенида галлия до уровня $10^{18} - 10^{19}$ см$^{-3}$.

ЛИТЕРАТУРА

[1]. Стрельченко С.С., Матяш А.А. Кинетика осаждения эпитаксиальных слоев соединений $A^{III}B^{V}$ из газовой фазы. *Обзоры по электронной технике.* Сер. 6. *Материалы.* Москва, 1979, Вып. 8(678), 56 с.

[2]. Пашинкин А.С., Малкова А.С., Шубина В.В., Стрельченко С.С., Матяш А.А. Легирование эпитаксиальных слоев арсенида галлия бериллием в хлоридном методе. *Электронная техника*, 1978, № 3, с. 55-59.

[3]. Anthony C.Jones, Paul O'Brein. *CVD of compound semiconductors: precursors synthesis, development and application.* Tokyo, VCH, 1997, 329 p.

[4]. Herrick C. S., Sanchez-Martinez R. A. Equilibrium Calculations for the Si-H-Cl system from 300 to 3000 K. *Journal of The Electrochemical Society,* 1984, vol. 131 (2), pp. 455-458.

[5]. Gao Y., Edgar J. H. Selective epitaxial growth of SiC: Thermodynamic analysis of the Si-C-Cl-H and Si-C-Cl-H-O systems. *Journal of The Electrochemical Society,* 1997, vol. 144 (5), pp. 1875-1880.

[6]. Weiner M. E. Si Contamination in open flow quartz systems for the growth of GaAs and GaP. *Journal of The Electrochemical Society,* 1972, vol. 119 (4), pp. 496-504.

[7]. Глазов В.М., Павлова Л.М. *Химическая термодинамика и фазовые равновесия.* Москва, Металлургия, 1988, 560 с.

Стрельченко Станислав Сергеевич – д-р техн. наук, профессор кафедры "Материаловедение" КФ МГТУ им. Н.Э. Баумана. E-mail: stas40@kaluga.ru.

Козлов Николай Юрьевич – студент КФ МГТУ им. Н.Э. Баумана. E-mail: kozlov-nik@rambler.ru.

S.S. Strelchenko, N.Yu. Kozlov

THERMODYNAMIC MODEL OF DOPING GALLIUM ARSENIDE BY BERYLLIUM

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

The thermodynamic model of the behavior of beryllium in the main types of vapor-phase epitaxy of gallium arsenide in this work is developed. For the first time quantitative ratios for factor of occurrence of beryllium in the epitaxial layers of gallium arsenide in a wide range of technological parameters of growth are received.

Keywords: *doping, beryllium, epitaxial layers of gallium arsenide, vapor – phase epitaxy*

REFERENCES

[1]. Strel'chenko S.S., Matyash A.A. *Kinetika osazhdeniya epitaksial'nykh sloyev soyedineniy* $A^{III}B^{V}$ *iz gazovoy fazy* [Kinetics of deposition epitaxial layers $A^{III}B^{V}$ compounds from vapor phase]. Obzory po elektronnoy tekhnike. ser. 6. Materials. Moscow, Publ., 1979, Vol. 8(678), 56 p.

[2]. Pashinkin A.S., Malkova A.S., Shubina V.V., Strel'chenko S.S., Matyash A.A. *Legirovaniye epitaksial'nykh sloyev arsenida galliya berilliyem v khloridnom metode* [Doping epitaxial layers gallium arsenide by beryllium in chloride method]. Elektronnaya tekhnika, Publ., 1978, no. 3, pp. 55-59.

[3]. Anthony C.Jones, Paul O'Brein. *CVD of compound semiconductors: precursors synthesis, development and application.* Tokyo, VCH, Publ., 1997, 329 p.

[4]. Herrick C. S., Sanchez-Martinez R. A. *Journal of The Electrochemical Society*, 1984, vol. 131 (2), pp. 455-458.

[5]. Gao Y., Edgar J. H. *Journal of The Electrochemical Society*, 1997, vol. 144 (5), pp. 1875-1880.

[6]. Weiner M. E. *Journal of The Electrochemical Society*, 1972, vol. 119 (4), pp. 496-504.

[7]. Glazov V.M., Pavlova L.M. Khimicheskaya termodinamika i fazovyye ravnovesiya [Chemical thermodynamics and phase equilibrium]. Moscow, Metallurgiya, Publ., 1988, 560 p.

Strelchenko S.S., Dr. Sci. (Eng.), Professor of Kaluga Branch of Bauman Moscow State Technical University. E-mail: stas40@kaluga.ru.

Kozlov N. Yu., student of Kaluga Branch of Bauman Moscow State Technical University. E-mail: kozlov-nik@rambler.ru.

СЕКЦИЯ 12.

ЗАЩИТА ИНФОРМАЦИИ

О.О. Горбачев

АНАЛИЗ МЕТОДОВ ВЫЯВЛЕНИЯ МОШЕННИЧЕСКИХ ИНТЕРНЕТ-МАГАЗИНОВ

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

Термин «мошенничество в интернете» применим в целом к мошенническим махинациям любого вида, где используется один или несколько элементов интернета – такие как комнаты в чатах, электронная почта, доски объявлений и конечно же интернет-магазины. Последние, в меру своего удобства получили большое распространение по всему миру. Каждый день совершается огромное количество покупок. И естественно, большое распространение получили ложные интернет-магазины. В данной статье представлены основные методы обмана современных покупателей. Приведены примеры зарубежных и российских обманных магазинов. Произведен анализ основных способов противодействия мошенникам. В представленной работе дана оценка каждому из представленных методов. Так же приведены примеры и дана оценка программного обеспечения, предназначенного для выявления мошеннических интернет-магазинов.

Ключевые слова: *интернет-магазин, обман, мошенничество, методы защиты.*

Введение

Термин «***мошенничество в Интернете***» применим в целом к мошенническим махинациям любого вида, где используются один или несколько элементов Интернета – такие как комнаты в чатах, электронная почта, доски объявлений или веб-сайты – для привлечения потенциальных жертв, проведения мошеннических сделок или для передачи поступлений от мошенничества в финансовые учреждения или иным лицам, участвующим в таких махинациях.

Мошенничество в Интернете приобретает все большие масштабы. Изобретаются все новые уловки по выкачиванию денег с простодушных пользователей. Практически полная безнаказанность, анонимность мошенников, большое количество доверчивых людей – все это подпитывает такой вот своеобразный вид «бизнеса».

Главное, что нужно помнить всем – «халявы» не бывает. Никто никогда не даст денег просто так. Деньги не появляются из неоткуда, даже если они «электронные». А Интернет – это просто средство передачи информации.

Методы обмана покупателей в интернете WOOLRICH

Имеем некий сайт woolrichdeutschland.com, (см. рисунок 1) который якобы торгует популярными и довольно известными куртками Woolrich. Казалось бы название сайта вселяет в покупателя полную уверенность в том, что он находится действительно на сайте некого немецкого интернет-магазина.

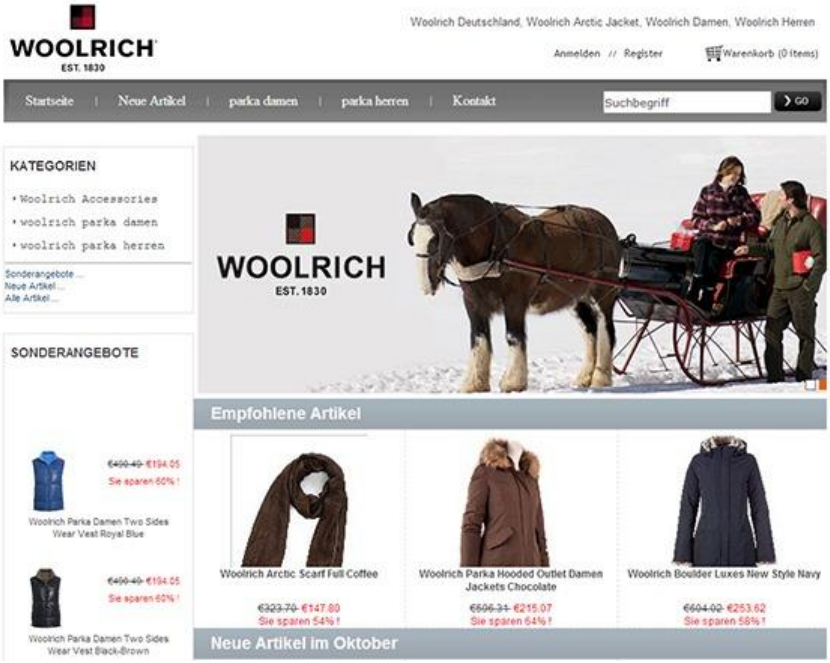


Рисунок 1 Пример немецкого интернет-магазина.

Все даже вроде бы как на немецком языке. Единственное, что должно смутить опытного покупателя - не реальные скидки. И это в начале сезона!

В качестве примера рассмотрим еще один подобный фейковый магазин - bestsnowbootssale.com. Примерно все тоже самое, что и на картинке выше, только в этот раз нам якобы предлагают купить не менее популярный бренд UGG Australia, но тоже с огромными скидками.

Не стоит думать, что вы сможете определить подделку по фотографиям товаров в данных магазинах. Тут мошенники постарались на славу и как правило все изображения скопированы с официальных сайтов производителя. Почувствовать опасность на первый взгляд не получится. Поэтому давайте смотреть на что стоит обратить особое внимание.

Попробую определить основные признаки фальшивого интернет-магазина:

1) Очень большие скидки. Причем не только на товары на разделах Sale или Clearance, а именно на весь ассортимент. Да магазины могут устраивать акции и распродавать прошлые коллекции, но тотальную распродажу сезонных вещей в начале сезона проводить может только безумец.

2) Отсутствие какой либо контактной информации. Разделы About Us и Contact US либо полностью отсутствуют, либо вам предлагается просто контактная форма для написания сообщения.

3) Отсутствие форм оплаты, которые имеют программы защиты покупателей, например PayPal. Возможно пример и не совсем показательный, т.к. магазинов не принимающий платежи через PayPal достаточно, но в совокупности с другими признаками этот рассматривать так же нужно.

4) Так же мне в моей практике встречались магазины у которых в методах оплаты вроде как были заявлены и банковские карты и PayPal, но при переходе непосредственно к оформлению заказа появлялось сообщение о том, что якобы по техническим причинам эти формы платежей временно не работают и просьба произвести оплату через Western Union.

5) Непонятные тексты в разделах Conditions of Use или им подобных. Поясню на примере о чем идет речь. Возьмем все тот же bestsnowbootssale.com и перейдем в указанный раздел. На рисунке 2 представлен пример:

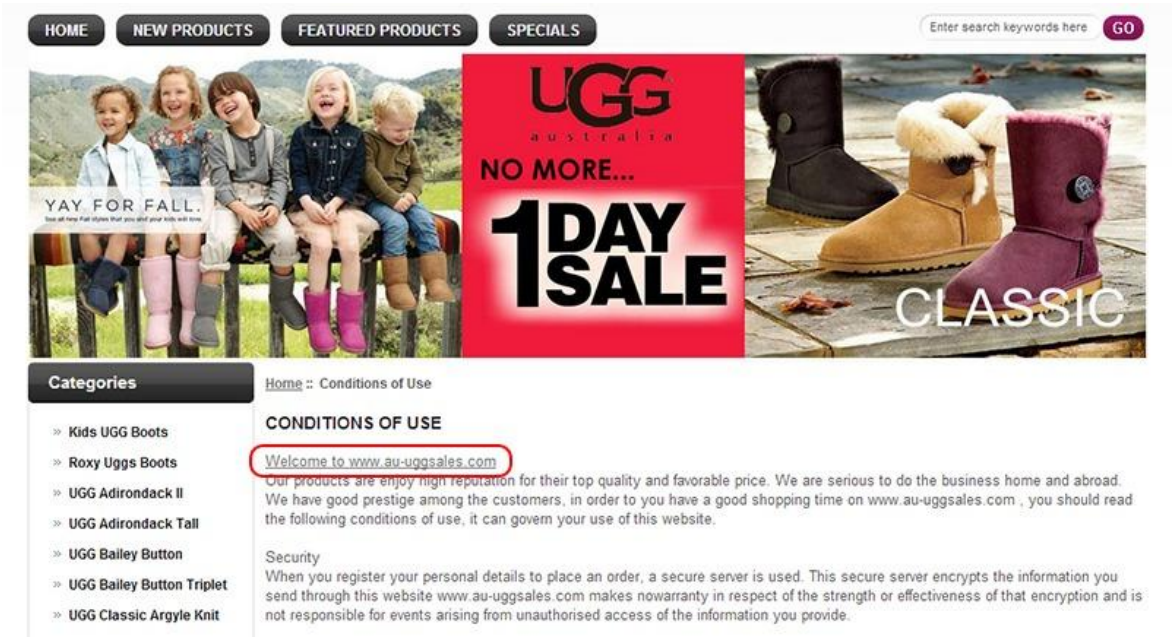


Рисунок 2 Пример подмены гиперссылки известного интернет-магазина на похожую.

Я специально выделил это место на картинке. А написано там следующее: добро пожаловать на сайт www.au-uggsales.com. Т.е. покупателя сознательно вводят в заблуждение, подсовывая ему название созвучное с названием основного домена UGG Australia - www.uggaustralia.com. Но в любом случае эта ссылка не имеет никакого отношения к рассматриваемому сайту.

Российский пользователь, в большинстве случаев, на зарубежные интернет магазины не полезет. Есть множество русскоязычных, порой даже

честных, интернет-магазинов. Один из них показан на рисунке 3. По этому давайте рассмотрим местный «магазинчик с обманом».

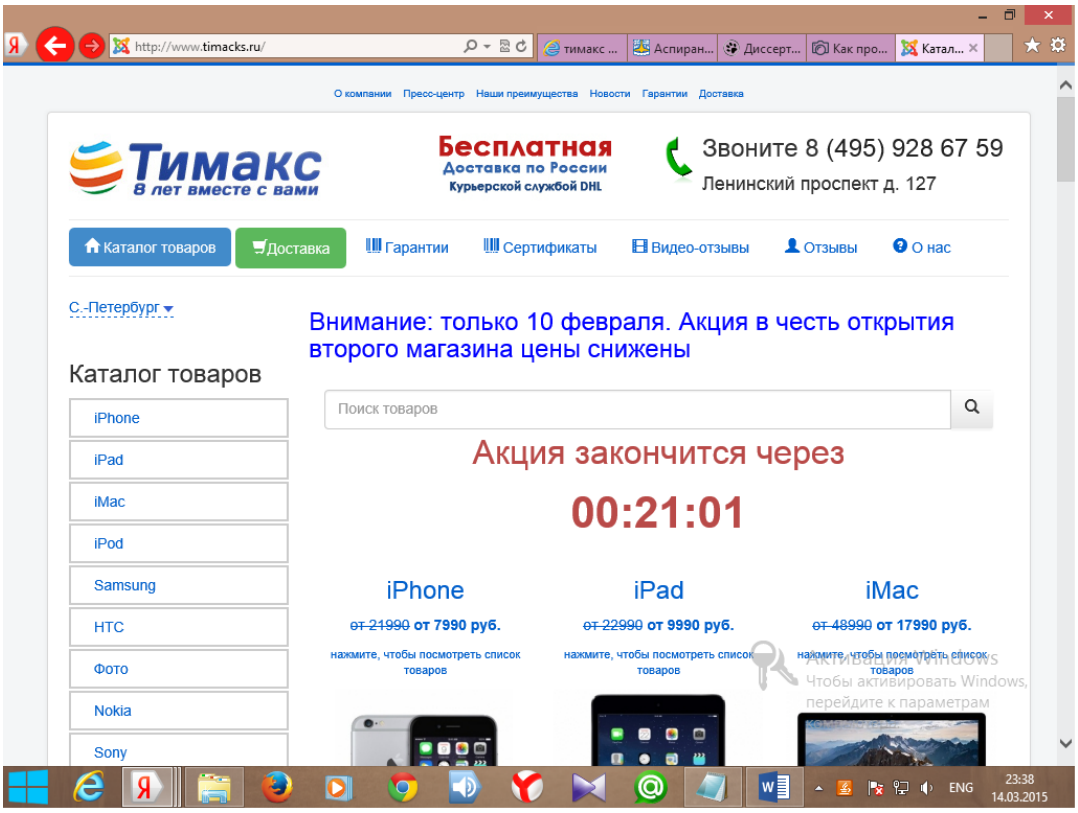


Рисунок 3 Пример российского обманного сайта.

Данный магазин сделан на более высоком мошенническом уровне. Разработчики учли основные признаки обманных сайтов. Как видите, здесь есть телефонный номер их офиса, по которому до перечисления денег можно дозвониться. Даже есть адрес магазина. Данный адрес, согласно яндекс картам, принадлежит торговому центру. Правда «Тимакса» там нет. Хотя на сайте представлена фотография магазина. Немного фотошопа и происходит чудо! (см. Рисунок 4).

Так же на сайте представлены сертификаты, свидетельства и рекомендации других компаний.

Однако есть и сходства с предыдущим примером. Конечно же это большие скидки. Но и тут мошенники проявили изобретательность, придумали благозвучный повод для акции. Открытие второго магазина. Да и акция длится всего пару дней. И ведь не придерешься, вспомните магазины фирмы «Бинес», те в честь открытия очередного магазина калужанам целый праздник устроили.

Единственное, к чему можно придраться, так это способы доставки. Всего один – курьером фирмы DHL.

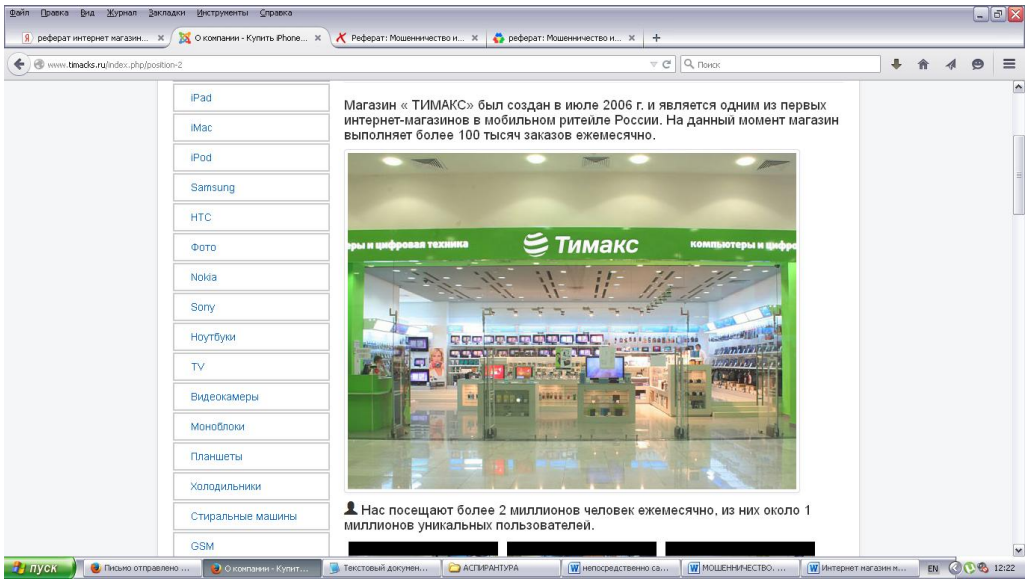


Рисунок 4 Пример несуществующего офиса интернет-магазина.

Методы защиты

Мошенников много, но это не повод отказаться от покупок. Ведь есть множество действительно честных магазинов Юлмарт, Техпорт и д.р. Но ни все ж только у них покупать? Да и среди покупателей новички встречаются, которые просто могут и не знать о столь знаменитых магазинах. Их не много, но все же они есть. Как быть им?

На одном из сайтов нашел правила, соблюдая которые, можно избежать обмана. Рассмотрим основные моменты, которые позволяют избежать обмана и вовремя опознать мошенников.

Разноцветный сайт, на котором представлены красивые меню и картинки, а также заверения в исключительной порядочности данного сайта и магазина - не более чем изображение на экране. Такой сайт может сделать любой студент, хостинг сейчас стоит весьма дешево, и как следствие сайт - совершенно не показатель. Однако кое-что по сайту определить можно:

С помощью сервисов типа http://leader.ru/secure/ несложно определить все данные о домене магазина - в частности, когда он зарегистрирован, и на кого. И если домен зарегистрирован недавно на Васю Пупкина, или размещается у непонятного малоизвестного хостера где-то за границей - то это повод задуматься;

Стоит внимательно присмотреться к сайту - нет ли там ошибок (грамматических ошибок, нерабочих ссылок, разделов со статусов "на реконструкции"). Наличие множества подобных ошибок, равно как скажем неработоспособность поиска или половины ссылок вглубь сайта должно заставить серьезно задуматься;

Несложно узнать индекс цитируемости любого ресурса. Например, с помощью Яндекс http://help.yandex.ru/catalogue/?id=1111360 можно определить "цитируемость" любого ресурса, равно как можно поискать ресурс

в модерируемом каталоге поисковика (в случае Яндекса http://help.yandex.ru/catalogue/?id=1111360). Например, магазин Chip-Dip имеет "цитируемость" = 750, магазин "Озон" = 10000, тогда как индекс цитирования поддельного сайта будет около нуля;

Проверить сайт магазина по базам фишинговых сайтов (например, Kaspersky Internet Security делает это автоматически, равно как аналогичные антивирусные продукты с функцией "антифишинг" или ее аналогами);

Следует "пробить" URL магазина через крупные поисковые машины (в частности: Яндекс, Рамблер, Google). Анализируя результат несложно сделать выводы о репутации сайта - нередко в первых 3-5 результатах встречается описание проблем с данным магазином или жалобы обманутых клиентов. Причем следует понимать, что отзывы могут быть и фальшивыми - но крайне сложно заполонить весь Интернет фальшивыми отзывами по некоему магазину. Кроме того, многие поисковики (я например часто пользуюсь Яндекс.Маркет, но это на любителя) ведут свои рейтинги магазинов, аккумулируя положительные и об отрицательные отзывы;

Одним из факторов оценки является наличие на сайте множества сторонних баннеров, всевозможной рекламы, кучи кнопок счетчиков и рейтингов - крупные ресурсы таким вещами не занимаются, так как Интернет-торговля приносит им доход, несопоставимо больший дохода от подобной рекламы.

Первое правило, на мой взгляд, одно из самых ценных. И действительно, с помощью таких ресурсов можно определить некоторую информацию о сайте, дату регистрации, на кого зарегистрирован (организация или физическое лицо) ну и страну. Однако далеко не все знают о подобных сервисах и не все легко увидят нужную информацию.

Небольшой пример на магазине «Юлмарт»:

Домен ulmart.ru занят

```
% By submitting a query to RIPN's Whois Service
% you agree to abide by the following terms of use:
% http://www.ripn.net/about/servpol.html#3.2 (in Russian)
% http://www.ripn.net/about/en/servpol.html#3.2 (in English).
domain: ULMART.RU
nserver: ns1.ulmart.ru. 146.120.93.254
nserver: ns2.ulmart.ru. 89.249.22.155
nserver: ns8-cloud.nic.ru.
nserver: ns8-l2.nic.ru.
state: REGISTERED, DELEGATED, VERIFIED
org: ULMART JSC
registrar: RU-CENTER-RU
admin-contact: https://www.nic.ru/whois
created: 2005.02.17
paid-till: 2016.02.17
```

free-date: 2016.03.19
source: TCI
Last updated on 2015.03.15 13:56:33 MSK

Интернет мошенники ни когда не напишут, что на рынке всего пару дней. На выше указанном «Тимаксе» есть информация, что магазин на рынке с 2006г., хотя на самом деле дата регистрации сайта и компании (сделал проверку по ИНН) февраль 2014г. А вот это действительно повод призадуматься.

Второе правило уже не актуально. Редко на каких сайтах встречаются грамматические ошибки. Мошенники тоже знают правила русского языка.

Третье правило так же ценности не несет. Цитируемость сайта, да такую эмблему на настоящих интернет магазинах не встретишь, не то, что у мошенников. К примеру на сайте компании «Юлмарт» ее нет. Да и подделать картинку не сложно, а смотреть код страницы все равно ни кто не полезет.

Четвертое – проверить по базам фишинговых сайтов. Круто! А что такое фишинг? Где их базы? Ну, а если серьезно, то конечно это снизит количество обманутых, но новые мошенники в базу еще не попали. Сначала появятся гневные отзывы, а уж потом сайт добавят в базу. В данном случае главной рекомендацией может быть только покупка на проверенных сайтах, таких как «Юлмарт», «ТехПорт» и т.д.

Пятое, проверить отзывы. Опять же если магазин мошенников только, что появился, то отзывов или вообще не будет, или они будут положительны. Однако если уже есть обманутые, то они напишут на форумах свои гневные отзывы. Они появятся примерно через 5 дней. Обычно именно столь пишут срок доставки товара. Вам осталось только найти эти отзывы. И искать эти отзывы лучше всего в самых распространенных соц. сетях («Вконтакте», «Одноклассники».)

Шестое правило – баннеры. На современных обманных сайтах их нет. И этим все сказано.

Так же существуют различные программы, защищающие пользователей от обмана. Однако они все лишь проверяют трафик со своей базой. Вот только частота обновления этой базы ни кому не известна. Старые мошеннические сайты уже сами не работают, а новые еще в базу не попали. Так, что эффективность таких программ низковата. Но при всем при этом они удобны. При посещении сайта мошенников программа подаст сигнал. И все же я бы рекомендовал установить на свой компьютер подобную программу. По крайней мере Вы не нарветесь на относительно старые, но еще функционирующие, лохотроны.

Вывод

Интернет-магазины получили большое распространение в современном мире. Никто не оспорит их удобство. Есть спрос, будет предложение, и вот на этом мошенники всегда заработают. Однако не стоит бояться та-

ких сервисов, но осторожным быть надо. Не все рассмотренные, методы борьбы с мошенниками сегодня актуальны. Но отзывы и даты регистрации магазина в совокупности оказываются самыми эффективными. При покупке будьте внимательны и не поленитесь потратить лишних пару минут для проверки магазина. Только Ваша осторожность сохранит семейный бюджет от разграбления.

Горбачев Олег Олегович – студент КФ МГТУ им. Н.Э. Баумана. E-mail: wersat@mail.ru.

O.O. Gorbachev

ANALYSIS METHODS FOR DETECTING FRAUDULENT INTERNET STORES

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

Gorbachev O.O., student of Kaluga Branch of Bauman Moscow State Technical University. E-mail: wersat@mail.ru.

УДК 004.032

А.В. Чевычелов

ТОПОЛОГИИ ИНФОРМАЦИОННО-ВЫЧИСЛИТЕЛЬНЫХ СИСТЕМ: ДОСТОИНСТВА, НЕДОСТАТКИ

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

Рассматриваются три основные вида базовых топологий: шина, кольцо и звезда, и составные топологии, обеспечивающие высокое качество доставки и обработки информации удаленным абонентам информационно-вычислительных систем. Представлены геометрическая форма и физическое расположение компьютеров сети один относительно другого, способ соединения их линиями связи, основные преимущества и недостатки каждого вида типологии.

Ключевые слова. *Топология компьютерной сети, информационно-вычислительные системы, оценка технической эффективности сети, линии связи, надежность работы, методы управления обменом.*

Развитие современных информационно-вычислительных систем (ИВС) базируется на широком использовании сетевых технологий, поскольку они обеспечивают высокое качество доставки и обработки информации удаленным абонентам ИВС. Эффективность ИВС существенным образом связана с ее конфигурацией, то есть с топологией компьютерной сети, описывающей геометрическую форму и физическое расположение компьютеров, а так же способ соединения их линиями связи, надежность работы, возможности расширения сети и наиболее удобные методы управления обменом.

Многозначительность понятия топологии

Под топологией (компоновкой, конфигурацией, структурой) компьютерной сети понимается геометрическая форма и физическое расположение компьютеров сети один относительно другого и способ соединения их линиями связи.

Характер связей между компьютерами зависит от состава и сложности сетевой аппаратуры, методов управления обменом, степени надежности сети, возможных типов каналов связи, а так же допустимых размеров сети (длины линий связи и количества абонентов) и необходимости электрического согласования. В литературе рассматриваются два разных понятия «топология сети», относящиеся к разным уровням сетевой архитектуры: физическая топология, которая рассматривает схему расположения компьютеров и прокладку кабелей и логическая топология, описывающая

структуру связей и характер распространения сигналов по сети. Логическая топология, возможно, наиболее правильно отражает понятие топологии [1].

Топология сети позволяет сравнивать и классифицировать различные сети. Оценку технической эффективности сети проводят по следующим показателям: пропускная способность сети (Мбит/с); время доставки сообщения; скорость передачи пакетов; надежность сети; зависимость времени задержки сообщения в сети от ее средней пропускной способности, т.е. от ее топологии. Надежность сети измеряется интенсивностью отказов и средним временем наработки на отказ и определяется топологией кабельных систем и надежностью коммутационной аппаратуры [2].

Базовые топологии

Различают три основных вида базовых топологий: шина; кольцо; звезда.

ТОПОЛОГИЯ ШИНА

В структуре топологии «шина» («общая шина») линия связи единственная. Компьютеры присоединяются по очереди к общему кабелю, на концах которого установлены терминаторы (рис. 1). Сигнал, проходя через все компьютеры по сети от одного конца к другому, отражается от конечных терминаторов (на рис. 1 показаны в виде прямоугольников). Передача информации идет от компьютеров в двух направлениях, но не одновременно, а по очереди, т.е. реализуется режим полудуплексного (half duplex) обмена. В случае наложения (конфликта, коллизии) наблюдается искажение переданной информации.

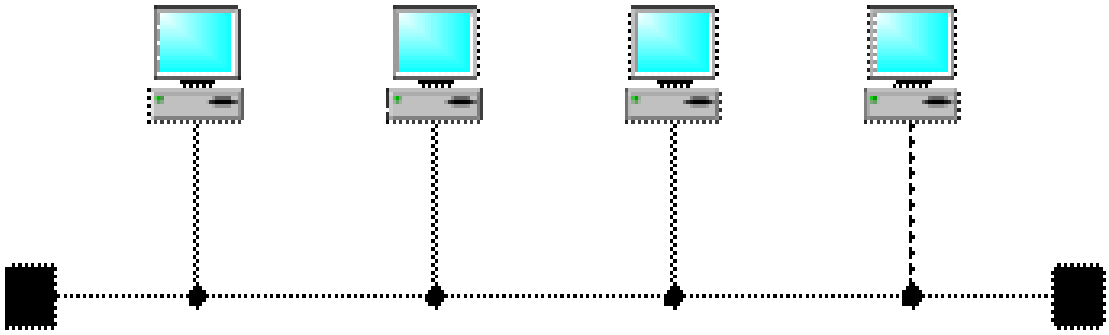


Рис.1. Топология «шина»

Шина проводит сигнал из одного конца сети к другому, при этом каждая рабочая станция проверяет адрес послания. Если адрес совпадает с адресом рабочей станции, она его принимает, в противном случае - сигнал уходит по линии дальше. Если одна из подключённых машин не работает, это не сказывается на работе сети в целом, однако если соединения любой из подключенных машин нарушается из-за повреждения контакта в разъёме или обрыве кабеля, неисправности терминатора, то весь сегмент сети (участок кабеля между двумя терминаторами) теряет целостность, что приводит к нарушению функционирования всей сети. В топологии «шина» нет центрального абонента, что увеличивает надежность системы, так как при отказе любого

центра вся управляемая этим центром система не будет функционировать. При отказе отдельного компьютера, шина продолжает функционировать, потому что остальные компьютеры сети продолжают нормально работать. Добавление новых абонентов в сеть происходит во время работы сети.

При использовании топологии шины к каждому компьютеру должно подходить два кабеля (за исключением крайних), что не очень удобно. При разрыве или повреждении кабеля нарушается согласование линий связи и обмена информацией даже между теми компьютерами, которые остались соединенными между собой, не происходит, т.е. короткое замыкание в кабеле шины приведет к выводу из строя всей сети. Разрешение возникающих конфликтов в этом случае будет происходить за счет сетевого оборудования каждого отдельного абонента, поэтому аппаратура сетевого адаптера при топологии «шина» представляет собой более сложную структуру, чем при другой топологии. Кроме этого, недостатками топологии «шина» являются: ограниченная длина кабеля и количество рабочих станций; невысокая производительность и сложность в обнаружении дефектов соединения. Тем не менее, топология шина довольно широко распространена, а стоимость сетевого оборудования не слишком высока.

К достоинствам данной типологии следует отнести: отказ какой-либо из рабочей станции не приводит к отключению всей сети; не сложная прокладка кабеля и простота и гибкость соединений [3].

Так как информационные сигналы при прохождении по линии связи сети с топологией «шина» ослабляются, существуют определенные ограничения на суммарную длину линий связи и требования к приемным узлам сетевого оборудования. Для этого могут быть использованы несколько сегментов, соединенных репитерами. [4].

ТОПОЛОГИЯ «КОЛЬЦО»

В топологии «кольцо» каждый компьютер соединен с двумя другими линиями связи, по которым от одного компьютера он получает информацию, а другому ее передает (рис. 2). На каждой линии связи имеется только один передатчик и один приемник, поэтому использование внешнего терминатора не требуется. Каждый компьютер выступает в роли репитера при возобновлении сигнала, что является важной особенностью кольца. Следовательно, в топологии «кольцо» нет четко выделенного центра [4]. Максимальное количество абонентов может быть достаточно большим (до тысячи и больше), как и в случае топологии "шина".

Топология «кольцо» обычно устойчива к перегрузкам и может передавать большой поток информации по сети. Это связано с отсутствием конфликтов (в отличие от шины) и отсутствием центрального абонента (в отличие от звезды). Короткое замыкание или любой обрыв кабеля в любом месте кольца приводят к потере работоспособности всей сети, как и в шине, поэтому для повышения надежности системы обычно прокладывают две (или больше) параллельных линий связи, одна из которых является резервной. В

то же время основным преимуществом кольца является то, что ретрансляция сигналов каждым абонентом существенно увеличивает размеры всей сети в целом, поэтому кольцо существенно превосходит любую другую топологию.

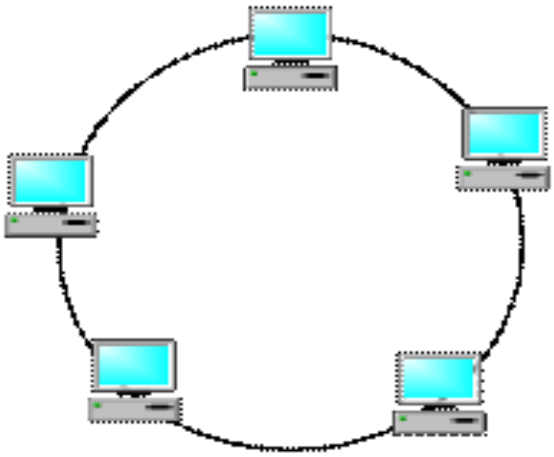


Рис.2. Топология «кольцо»

Недостатком данной типологии является то, что к каждому компьютеру сети требуется подводить по два кабеля, а подключение новых абонентов в «кольцо» должно происходить при обязательной остановке работы всей сети на время подключения. Среди основных достоинств наиболее весомыми являются: возможность подключения максимального количества абонентов (до тысячи и больше); устойчивость к перегрузкам, что обеспечивает работу с большими потоками информации по сети; ретрансляция сигналов каждым абонентом позволяет существенно увеличить размеры всей сети в целом, поэтому кольцо существенно превосходит любую другую топологию [5].

Иногда топология «кольцо» выполняется на основе двух кольцевых линий связи, которые передают информацию в противоположных направлениях, что приводит к увеличению скорости передачи информации. К тому же при повреждении одного из кабелей сеть может работать с другим кабелем.

ТОПОЛОГИЯ «ЗВЕЗДА»

В топологии «звезда» весь обмен информацией происходит через центральный компьютер, осуществляющий функцию по управлению обменом, поэтому центральный компьютер является самим мощным, а сетевое оборудование более сложное, чем оборудование периферийных абонентов (рис. 3). Именно за счет централизации управления в топологии звезда отсутствуют конфликты в сети. Любой отказ центрального компьютера приводит к неработоспособности сети, при отказе же периферийного компьютера часть сети продолжает функционировать. Для повышения надежности топологии «звезда» необходимо повышать надежность именно центрального компьютера и его сетевой аппаратуры. Обрыв любого кабеля или короткое замыкание в периферийном компьютере нарушает обмен только с этим компьютером, а все другие компьютеры продолжают нормально функционировать [6].

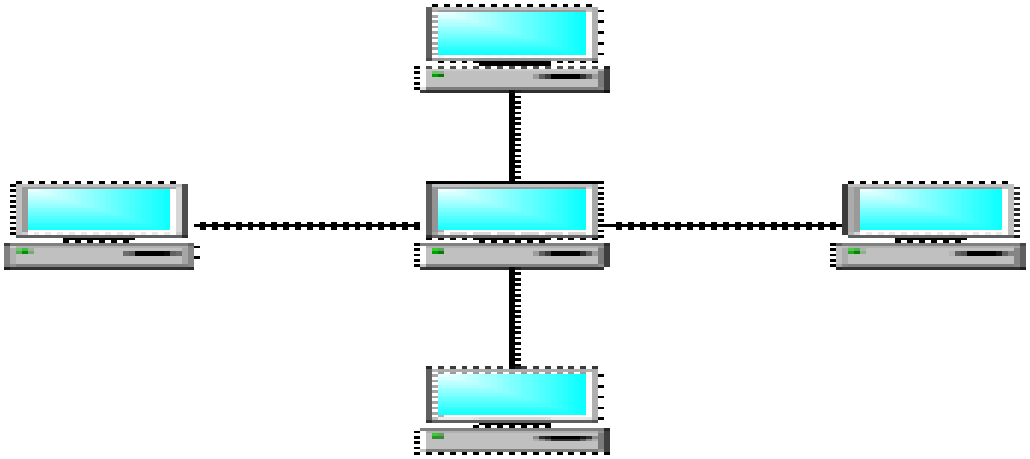


Рис.3. Топология «Звезда»

В топологии «звезда» центральный абонент соединен двумя линиями связи с одним из периферийных компьютеров, по которым информация передается только в одном направлении, то есть, на каждой линии связи есть только один приемник и один передатчик. Это свойство не требует дополнительных внешних терминаторов. Одним из серьезных недостатков топологии «звезда» является жесткое ограничение количества периферийных абонентов, обслуживаемых центральным абонентом (обычно не больше 8-16 периферийных абонентов). Для возможности наращивания количества абонентов используют подключение одного центрального абонента вместо периферийного(звезда в звезде).

Звезда, изображенная на рис.3, называется активной, или настоящей звезды. «Пассивная звезда» (рис. 4) только внешне напоминает звезду, распространена гораздо чаще, чем активная звезда (например, в сети Ethernet).

Рис. 4. Топология «пассивная звезда»

В центре «пассивной звезды» находится не компьютер, а концентратор, или хаб (hub), который выполняет функцию репитера: возобновляет поступающие сигналы и пересылает их в другие линии связи. То есть в «пассивной звезде» центрального компьютера нет и информация от каждого компьютера как и в типологии "шина" одновременно передается ко всем другим компьютерам.

Основным преимуществом звезды (как активной, так и пассивной) является то, что все точки подключения находятся в одном месте, что дает возможность контролировать работу сети, локализовать и ликвидировать неисправности. К каждому периферийному абоненту может подходить как один кабель, тогда передача информации идет в обоих направлениях, или два кабеля, по каждому из которых передача идет в одном направлении. Общим недостатком для всей топологии типа «звезда» является затрата на кабель, которого потребуется гораздо больше, чем при топологии «шина», что существенно повысит стоимость всей сети в целом.

Существует множество способов объединения базовых технологий:

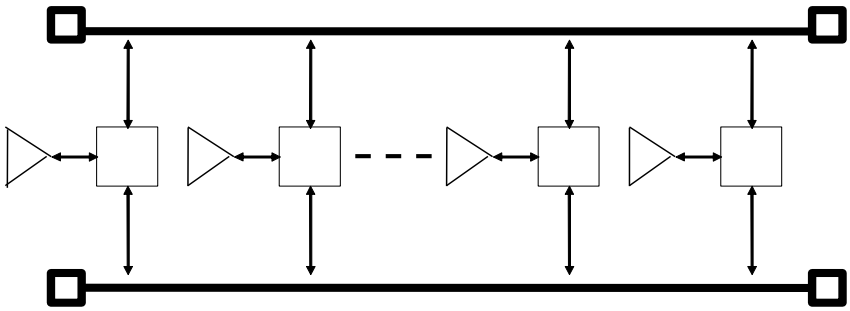
Составные топологии

Иногда составные топологии называют смешанными или гибридными, но некоторые из них имеют собственные названия.

Рассмотрим основные виды составных сетевых топологий [7].

Простые топологии

Простые топологи являются частью составных топологий и направлены в основном на устранения недостатков базовых по критерию надежности и балансировки трафика.



bus2

Рис. 5. Сеть с дублированными ЛВС типа Ethernet и методом доступа «CSMA/CD bus»

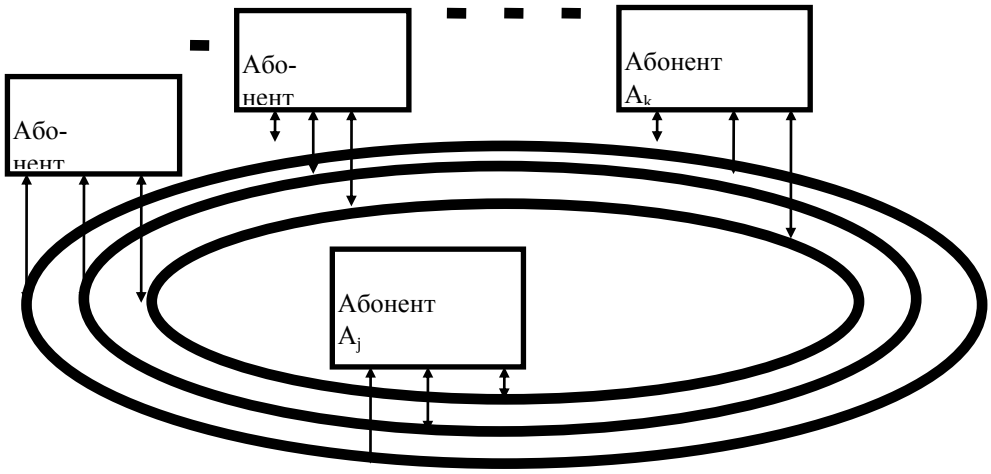
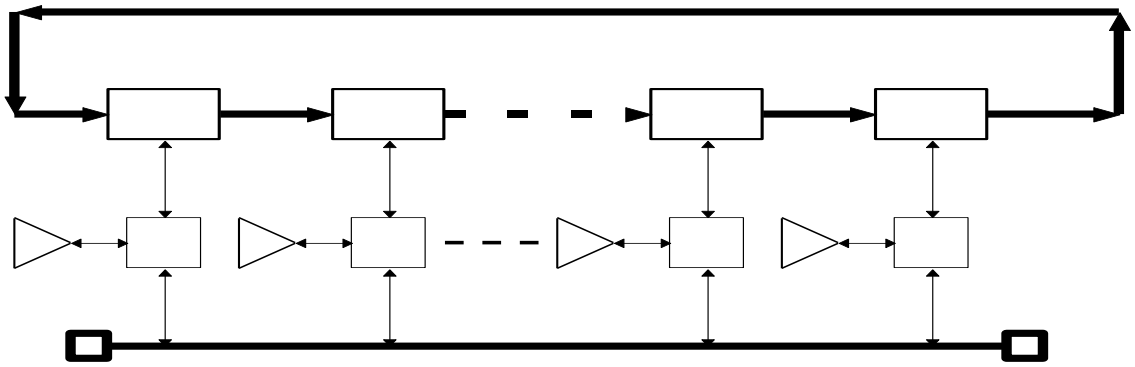


Рис. 6. Трехканальная сеть с параллельными ЛВС типа «Token ring» (тройное маркерное кольцо)



Bus (monochannel 2)

Рис. 7. Двухканальная гибридная ЛВС с параллельными ЛВС типа «CSMA/CD bus - Token bus»

Топология «дерево»

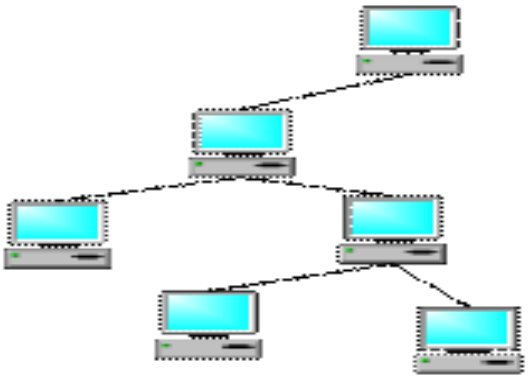


Рис. 8. Топология «активное дерево»

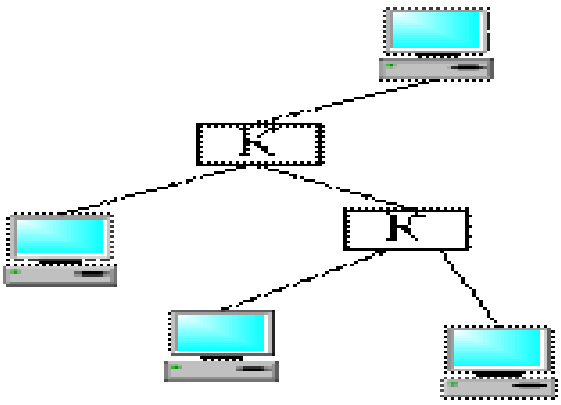


Рис. 9. Топология «пассивное дерево». К – концентраторы

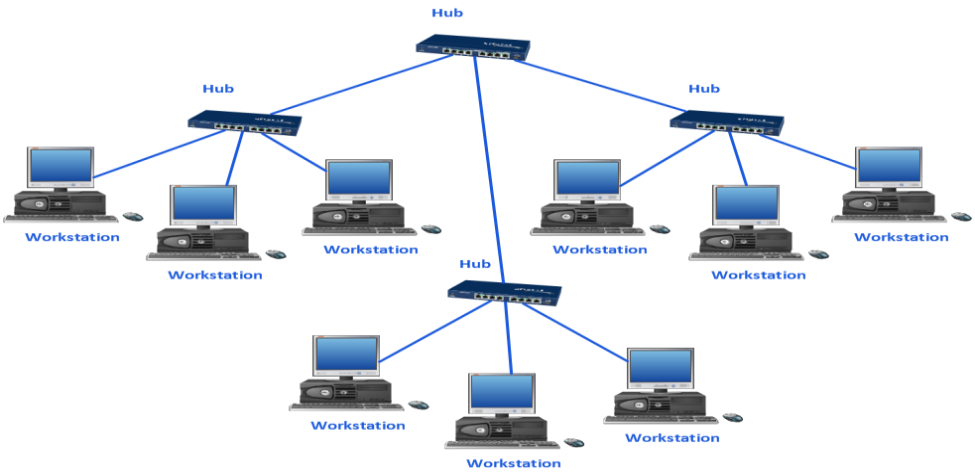


Рис.10. Разветвленная топология типа «дерево»

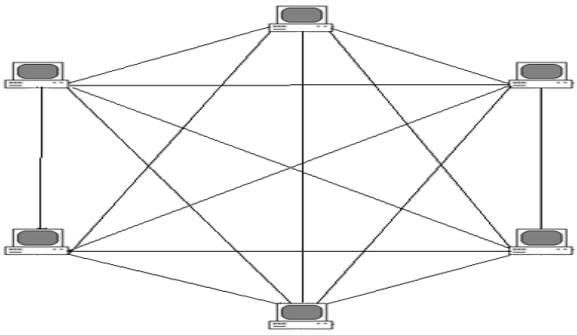


Рис.11. Каждый с каждым (полносвязанная топология)

Ячеистые топологии

К классу составных топологий относятся так называемые ячеистые топологии, для которых характерна схема соединения компьютеров, физические линии связи в которых установлены со всеми рядом стоящими компьютерами. В сети при этом непосредственно связываются только те компьютеры, между которыми происходит интенсивный обмен данными. Обмен данными между компьютерами, не соединенными прямыми связями, происходит путем транзитной передачи через промежуточные узлы. При ячеистой топологии возможно соединение большого количества компьютеров. Данное свойство может быть использовано для создания сетевых кластеров корпоративных и глобальных сетей.

Решётка - понятие из теории организации компьютерных сетей. Это топология, в которой узлы образуют регулярную многомерную решётку. При этом каждое ребро решётки параллельно её оси и соединяет два смежных узла вдоль этой оси.

Представим основные топологии типа «решетка».

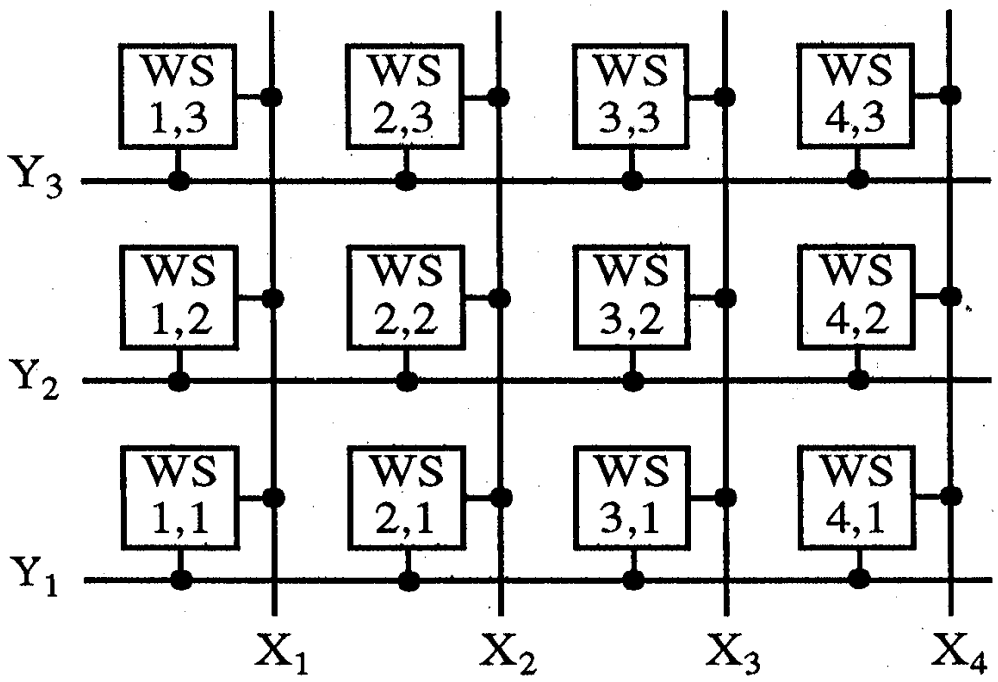


Рис. 12. Топология «прямоугольная решетка»

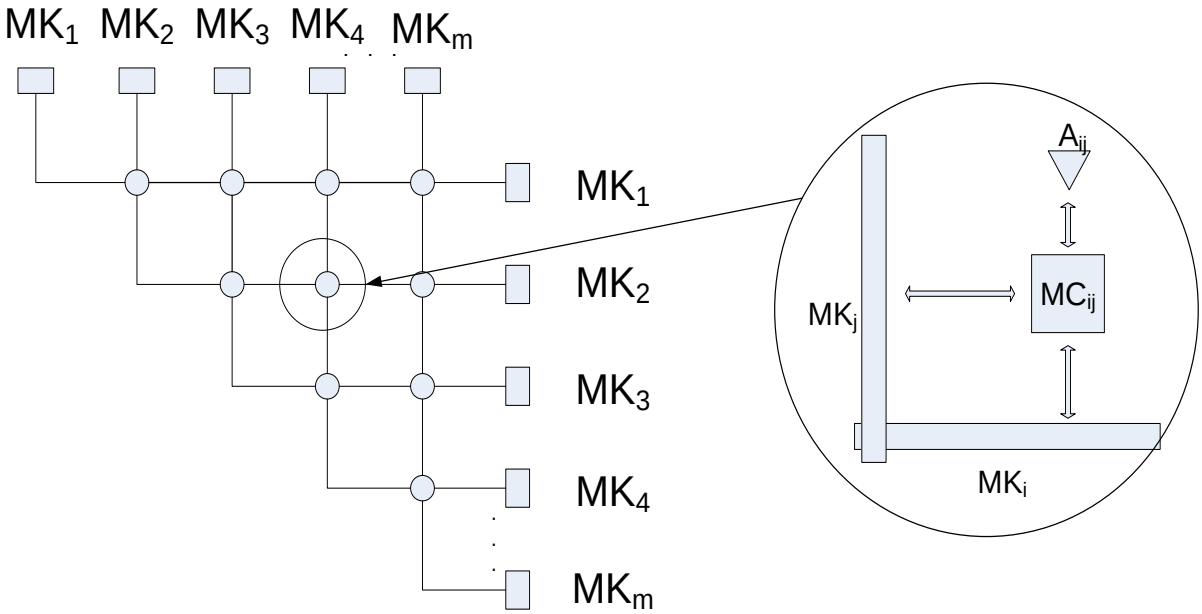


Рис. 13. Топологии «треугольная решетка»

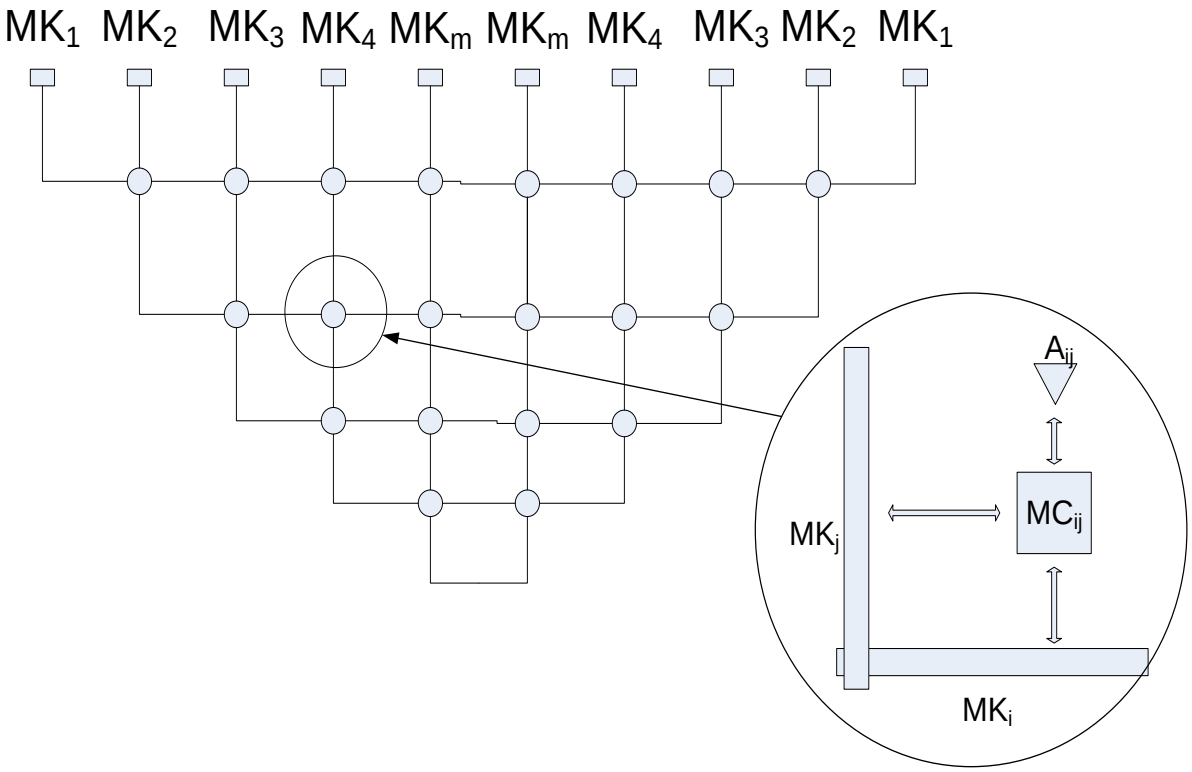


Рис. 14. Топология кластера «пирамидальная решетка»

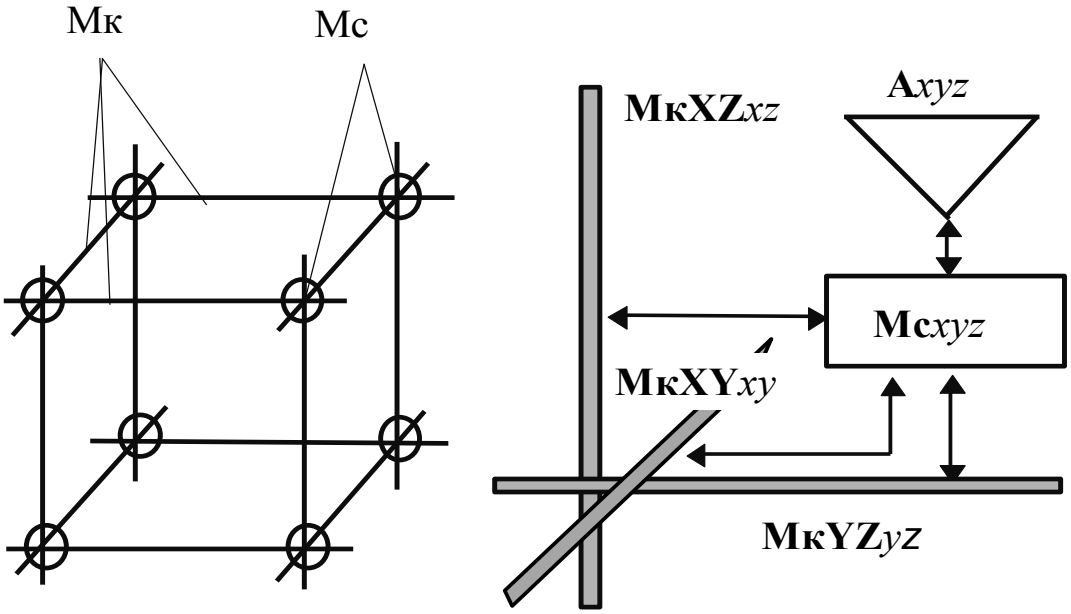


Рис. 15. Элемент топологии кластера «ТРЕХМЕРНАЯ РЕШЕТКА»

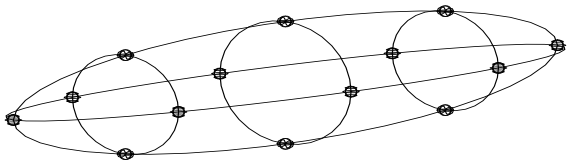


Рис. 16. Топология кластера «ЭЛИПСОИД»

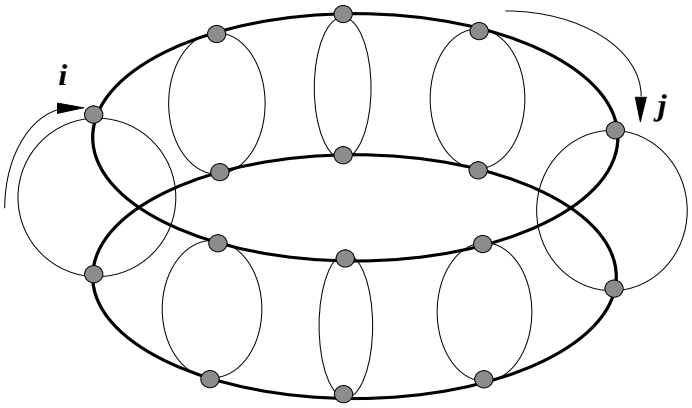


Рис. 17. Топология кластера «ТОР»

Более подробная информация о других видах ячеистой пологи представлена в [8,9]. Достоинства данных топологии в их устойчивости к отказам и перегрузкам, т.к. имеется несколько способов обойти отдельные узлы. Данные типы топологий в зависимости от направленности решения прикладных задач имеют разные схемы и эффективно решают задачи повышения производительности, надежности и балансировки трафика. Недостатками рассмотренных составных топологий являются все те недостатки, которые характерны для их базовых составляющих.

Представленный в статье анализ (достоинства и недостатки) дает возможность адекватно выбрать необходимую топологию для реализации проекта разработки и реконструкции ИВС, направленного на решение определенной прикладной задачи. При этом уточнены и расширены понятия составных топологий ("ячеистые", "решетки") в информационно-вычислительных сетях; рассмотрена возможность использования составных топологий в сетевых кластерах: прямоугольная решетка, треугольная решетка, пирамидальная решетка, эллипсоид, тор; показано, что сетевые кластеры с топологией вида "решетка" решают комплексную задачу балансировки трафика в информационно-вычислительных сетях и повышают их производительность и надежность.

Литература

[1]. Барановская Т. П., Лойко В. И., Семенов М. И., Трубилин А. И. Архитектура компьютерных систем и сетей. – М.: Финансы и статистика, 2003. – 256с.

[2]. Бройдо В.Л. Вычислительные системы, сети и телекоммуникации: Учебник для вузов. – СПб.: Питер, 2002. – 688с.

[3]. Андерсон К. Локальные сети. Полное руководство [Текст] / К. Андерсон, Минаси М - СПб.: КОРОНА принт, 1999. - 624 с.

[4]. Топология компьютерных сетей: шина, звезда, кольцо, активное дерево, пассивное дерево. [Электронный ресурс]. URL: http://life-prog.ru/view_zam2.php?id=3(дата обращения 02.03.2015г.).

[5]. Олифер, В. Г Компьютерные сети. Принципы, технологии, протоколы [Текст] / В. Г Олифер, Н.А. Олифер. - СПб.: Питер, 2001. - 429 с.

[6]. Топология сети [Электронный источник]: Свободная энциклопедия Википедия. - Режим доступа: ru. /wiki/Топология_сети (дата обращения 02.03.2015г.).

[7]. Компьютерные системы и сети [Текст]: учеб. Пособие/ В.П. Косарев [и др.] ; под ред.В.П. Косарева, Л.В. Еремина. - М.: Финансы и статистика, 1999. - 538 с.].

[8]. Таненбаум Э. Компьютерные сети. – 4-е изд. СПб., 2002. – С.389.

[9]. Максимов Н.В., Попов И.И. Компьютерные сети. М., 2007. – С.352.

Чевычелов Артем Владимирович – студент КФ МГТУ им. Н.Э. Баумана. E-mail: artyomche9@gmail.com.

A.V. Chevychelov

TOPOLOGY OF COMPUTER NETWORKS: ADVANTAGES AND DISADVANTAGES

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

Discusses the three main types of basic topologies: bus, ring and star, and the stacked topology, ensuring the high quality delivery and processing of information to remote subscribers information and computing systems. Presents a geometric shape and the physical location of computers on the network to one another, a way to connect their lines of communication, the main advantages and disadvantages of each type of typology.The problem of constructing computer-aided design of computer networks is relevant since the beginning of the development of computer networks . The emergence of new telecommunication technologies and new areas of their application makes this task to date and requires the development of new approaches. The novelty of the research is to develop methods to describe the classical topology in the context of the task of building a network topology with a complex combination topology.

Keywords: *The topology of a computer network, information systems, reliability.*

Chevychelov Artyom Vladimirovich, student of the Kaluga Branch of the Bauman Moscow State Technical University. E-mail: artyomche9@gmail.com.

УДК 004.056.55

В.Л. Бухман, М.К. Савкин

ГОМОМОРФНЫЕ СИСТЕМЫ И ИХ ПРИМЕНЕНИЕ

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

Шифрование той или иной информации необходимо людям еще с давних времен. Это привело к созданию такой науки, как криптография, которая служит надежным средствомдля гарантированного сохранения конфиденциальности информации. Однако, средства хранения и передачи данных постоянно развиваются и появляются все более сложные задачи, которые должна решить криптография. Одной из таких задач является способность совершать вычисления с зашифрованными данными. Для ее решения применяются гомоморфныекриптосистемы. Рассмотрим преимущества гомоморфных криптосистеми процесс их эволюции.

Гомоморфное шифрование — криптографическая система, позволяющая производить операции над зашифрованными данными и получать зашифрованный результат, соответствующий результату операций с незашифрованными исходными данными.

Существует два типа гомоморфных криптосистем: частично гомоморфные и полностью гомоморфные. Частично гомоморфные позволяютиспользовать одновременно только одну операцию: либосложение, либоумножение. Полностью гомоморфные могут выполнять обе операции.

Понятие гомоморфного шифрования было сформулировано Рональдом Ривестом, Леонардом Адлеманом и Майклом Дертузосом в 1978, спустя год после создания алгоритма шифрования с открытым ключом RSA. Однако попытки создать гомоморфную систему потерпели неудачу, после чего авторы решили, что данная система не может быть реализована. Данная точка зрения сохранялась в течении 30 лет, но попытки создать гомоморфную систему не останавливались. В 1982 году ШафиГольдвассер и Сильвио Микали создали свою систему шифрования, безопасность которой была на высоком уровне. Тем не менее, она имела значительные недостатки: могла шифровать только один бит и являлась лишь добавочным гомоморфным шифрованием. Спустя некоторое время, в 1999 году была создана криптосистема аналогичная двум предыдущим, автором которой являлся ПаскальПэйе. Небольшое продвижение в данной сфере случилось в 2005 году, когда Дэн Бонэ, Ю -ЧжинГо и КобиНиссим изобрели систему шифрования, которая могла выполнять неограниченное количество операций сложения, но всего лишь одну операцию умножения.Только спустя 31 год после создания криптосистемы RSA в 2009 году впервые была предложена полностью гомоморфная система, то есть гомоморфная для опера-

ций умножения и сложения одновременно, что дает возможность выразить любую математическую функцию, но данная система не была эффективной и имела ограниченное количество операций.

Гомоморфное шифрование широко используется в различных областях. Первой такой областью является облачные системы.Облачные системы — среда, предназначенная для хранения и обработки данных.Вся информация, находящиеся в данных системах, зашифрована определенным способом. Для доступа к данным клиент вынужден отправить свой секретный ключ для подтверждения личности. Это и является основной проблемой облачных систем, так как передача ключа – это его раскрытие, после чего нарушается безопасность данных. Данная проблема может быть решена с помощью гомоморфного шифрования, посредством которого будет производиться работа с уже зашифрованными данными. Кроме того, гомоморфные криптосистемы могут применяться в электронном голосовании. В данном случае шифрование обеспечивает конфиденциальность выбора отдельных лиц, после чего голосования могут совершаться по сети Интернет, что ускоряет процесс выборов. Еще одной областью применения гомоморфного шифрования могут являться поисковые системы. При внедрении гомоморфного шифрования в данные системы может производится приватный поиск, обеспечивающий скрытность информации от поискового сервера.

На сегодняшний день одной из самых популярных гомоморфных систем являетсяасимметричная криптосистема с открытым ключомRSA, которая относится к частично гомоморфным по умножению. Эта система имеет обширную область использования начиная с цифровых подписей, заканчивая защитой программного обеспечения. Криптосистема RSAявляется уникальным способом шифрования. Ее уникальность заключается в том, что эта система имеет высокую криптостойкость,и в тоже время проста для понимания. В данный момент не существует ни одного алгоритма, с помощью которого можно было бы эффективно расшифровать информацию. Работа RSAосновывается на создании закрытого и открытого ключей. Закрытый ключ должен быть известен только его владельцу и предназначен для дешифрования информации. Открытый ключ используется для шифрования данных, и он может передаваться любой персоне. Алгоритм создания ключей начинается с выбора двух простых чисел, ограниченных определенным размером. На следующем этапе происходит вычисление модуля (произведения) этих чисел и последующее вычисление функции Эйлера от полученного результата. После этого выбирается открытая экспонента (открытый ключ) – целое простое число из диапазона от единицы до значения функции Эйлера. С помощь открытой экспоненты определяется взаимообратное число(закрытая экспонента), которое удовлетворяет условию:

$$d = e^{-1} \bmod \varphi(n), \quad (1)$$

где d – закрытая экспонента, e–открытая экспонента, n– модуль изначально выбранных чисел, ϕ(n) – значения функции Эйлера.Шифрование и дешифрование производиться с помощью универсальной функции E(x):

$$E(x) = x^b \bmod n, \quad (2)$$

где x – шифротекст/исходный текст, b – закрытая/открытая экспонента, n - модуль изначально выбранных чисел.

В результате изучения данной темы можно сделать следующий вывод: гомоморфные системы являются неотъемлемой частью современной криптографии. К сожалению, гомоморфное шифрование является не полностью изученным разделом и ведутся упорные работы в создании данных криптосистем. Гомоморфное шифрование позволило бы объединить различные услуги, не предоставляя данные для каждой услуги и могло бы быть использовано для создания безопасных систем голосования, дляобеспечения приватного поиска в поисковых системам и сделать возможным широкое использование облачных вычислений, гарантируя конфиденциальность обработанных данных.

Список литературы

[1]. http://habrahabr.ru/post/230645/

[2]. https://ru.wikipedia.org/wiki/Гомоморфное_шифрование

[3]. Н. Варновский, А. Шокуров, Гомоморфное шифрование , 2006

[4]. Вэнбо Мао, Современная Криптография. Теория и Практика, 2005.

[5]. А. О. Жиров, О. В. Жирова, С. Ф. Кренделев, Безопасные облачные вычисления с помощью гомоморфной криптографии, 2013

Бухман Владислав Леонидович – студент КФ МГТУ им. Н.Э. Баумана. E-mail: vladislav.buhman@outlook.com.

Савкин Михаил Константинович – ассистент кафедры «Информационная безопасность автоматизированных систем» КФ МГТУ им. Н.Э. Баумана. E-mail: savkinmk@gmail.com.

С.А. Пискарева, М.К. Савкин

МЕТОДЫ ОБФУСКАЦИИ ГРАФА ПОТОКА УПРАВЛЕНИЯ

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

Обфускация или запутывание – это изменение кода таким образом, что его функциональность не изменяется, но анализ программы затрудняется. Это делается с целью защиты программу от взлома, обратной разработки, обхода технических средств защиты авторского права и проверки лицензии.

При обфускации управления преобразуется граф потока управления: изменяется порядок вызова функций, добавляются новые, уже существующие заменяются другими.

Методы обфускации управления

Открытая вставка функций. Тело функции подставляется в места вызова этой функции. Многие компиляторы выполняют данную операцию автоматически. Так же используется обратное преобразование, заключающееся в выделении группы операторов и выносе их в функцию с добавлением необходимых формальных параметров.

Устранение библиотечных вызовов. Это преобразование похоже на предыдущее и заключается в статической компоновке библиотек в том случае, если это возможно. Если же такая подстановка невозможна, производится собственная реализация библиотечных процедур.

Непрозрачные (неявные) предикаты. Это последовательность операций, значение которых известно в момент запутывания, но трудноопределимо после завершения обфускации. Непрозрачные предикаты бывают трех видов: всегда возвращающие истинное значение (P^T), всегда возвращающие ложное значение (P^F), и могущие вернуть как истинное, так и ложное значения ($P^?$).

Внесение недостижимого кода. Такой код никогда не выполняется. Недостижимый код располагается, как правило, по тем веткам непрозрачных предикатов типов P^T и P^F, переход на которые никогда не происходит. Недостижимый код может быть похож на реально выполняемый код.

Внесение мертвого кода. Мертвый код, в отличие от недостижимого, выполняется, но не должен иметь никакого влияния на выполняемый код и результат программы.

Внесение избыточного кода или внесение тождеств. Этот метод заключается в замене констант или вычисленных ранее значений тождественными выражениями. Его можно использовать с целочисленными значениями только в том случае, если известно, что не может произойти арифметического переполнения. Не может использоваться с числами с плавающей точкой из-за погрешности вычислений.

Клонирование кода. В обе ветки непрозрачного предиката типа $P^?$ подставляется код, выполняющий одну и ту же функцию. Такой код можно получить путем применения различных методов обфускации к участку исходного кода.

Переплетение функций. Объединение нескольких функций в одну. Новая функция должна иметь все формальные параметры исходных функций и еще один, определяющий какая из функций должна выполняться.

Разложение циклов. Цикл разбивается на несколько более простых циклов, с тем же пространством итерирования.

Развертка циклов. Цикл разбивается на несколько, путем разделения пространства итерирования с соответствующим изменением счетчиков и условий выхода.

Локализация переменных. Вместо глобальных переменных, в блоках кода создаются соответствующие им локальные переменные. Для правильной работы нужно так же создать связующие блоки, которые будут копировать выходные значения этих переменных из одного блока во входные переменные другого блока.

Расширение области действия переменных. Это преобразование противоположно предыдущему. Локальные переменные отдельных блоков заменяются глобальными. Причем несколько таких переменных можно объединить в одну, при условии невозможности их одновременного использования.

Реструктуризация графа потока управления. Данное преобразование приводит граф к "плоскому" виду, путем создания блока-диспетчера, на который переводятся все операторы передачи управления от одних блоков другим. Затем блок-диспетчер по входным данным определяет, какому блоку далее следует передать управление.

Обфускацию используют, чтобы защитить важные участки кода от обратной разработки и изменения. Однако запутывание может увеличить размер программы и время ее выполнения, что не позволяет применять обфускацию к участкам кода, для которых важно быстродействие. Так же запутывание в некоторых случаях может сделать программу непереносимой или привести к появлению ошибок.

Список литературы

[1]. https://ru.wikipedia.org/wiki/Обфускация

[2]. Радченко Е.Д. Разработка и реализация библиотеки программ запутывания кода на языке обфускации и метода запутывания кода по потокам данных. 2009

[3]. Чернов А. В. *Труды Института Системного программирования РАН,* 2003

[4]. Варновский Н.П., Захаров В.А., Кузюрин Н.Н., Чернов А.В., Шокуров А.В. Об особенностях применения методов обфускации программ для информационной защиты микроэлектронных схем. *Труды Института системного программирования РАН,* 2006 том 11

Пискарева Софья Андреевна – студент КФ МГТУ им. Н.Э. Баумана. E-mail: sofia.piskareva@gmail.com.

Савкин Михаил Константинович – ассистент кафедры «Информационная безопасность автоматизированных систем» КФ МГТУ им. Н.Э. Баумана. E-mail: savkinmk@gmail.com.

Е.Е. Хмельницкая, А.А. Москвина

ОБЕСПЕЧЕНИЕ ЦЕЛОСТНОСТИ И ДОСТУПНОСТИ В MS SQL SERVER

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

Целостность и доступность являются взаимосвязанными терминами. Утрата целостности базы данных приводит к потере доступности и фальсификации данных.

Обеспечение целостности в MS SQL Server

Термин **«целостность данных»** описывает состояние базы данных, когда все хранящиеся в ней данные верны. Целостность данных теряется, в случае сохранения в базе неверных данных. Свойства различного типа, обеспечивающие целостность данных, могут быть определены в таблицах SQL Server. К ним относятся: свойства IDENTITY, определения NOT NULL и DEFAULT, ограничения, типы данных, правила, индексы и триггеры.

Вследствие того, что вводимые данные должны соответствовать заданному для объекта типу, типы данных обеспечивают целостность данных. Нельзя хранить имя в столбце, для которого определен целочисленный тип данных, так как в столбец с таким типом данных возможен ввод лишь целых чисел.

Если столбец не допускает пустые значения, используется ключевое слово NOT NULL, в противном случае - NULL.

Если при добавлении строки значение поля не задано, значения задаются по умолчанию. Определение DEFAULT либо добавляют к уже существующей таблице, либо создают при её определении.

Свойство IDENTITY отвечает за создание в таблице столбца идентификаторов. Обычно значения столбца с идентификатором уникальны в пределах таблицы, в которой они определены.

Триггеры представляют собой особый класс объектов баз данных, автоматически запускающихся для таблицы или представления при выполнении операторов INSERT, UPDATE или DELETE. Триггеры являются мощным инструментом, который применяется при модификации данных для автоматической реализации бизнес-логики. Они могут расширять логику проверки целостности, которая реализуется умолчаниями, правилами SQL Server и ограничениями.

Индекс — это структура, предназначенная для упорядочивания в базе данных значения одного и более столбцов таблицы.

Качество данных в таблице гарантирует обеспечение целостности данных. Необходимо соблюдать следующие два шага при планировании таблиц:

- определение для столбца таблицы допустимых значений;
- определение способа обеспечения целостности данных в столбце таблицы.

Обеспечение доступности в MS SQL Server

Под **доступностью данных** понимается состояние ресурсов автоматизированной информационной системы, при котором субъекты могут беспрепятственно реализовывать свои права доступа.

Обеспечение высокой доступности в SQL

Платформа SQL обеспечивает доступность баз данных на уровне 99,9%. Такая цифра достигается с помощью:

- управления репликами каждой из баз данных SQL (поддерживаются одна основная и две дополнительные реплики)
- использования потребительского оборудования, позволяющего реализовать быструю и простую замену в случае отказа компьютера или накопителя.

Необходимо при обнаружении сбоев выявлять как случаи полного отказа компьютеров, так и тенденции медленного снижения их производительности и нарушения обмена данными с вычислительными машинами. В SQL эти проблемы решаются следующим образом:

1. Транзакция считается не зафиксированной, если основная и одна или более дополнительные реплики не подтверждают запись в журнал транзакции.
2. В случае, когда основная и дополнительная реплики подтверждают успешную запись, есть вероятность возникновения небольших сбоев, способных привести к серьезным проблемам, но не препятствующих фиксации транзакции.

В случае аппаратных сбоев, возникновения неполадок экземпляра SQL или аварийном завершении работы операционной системы может понадобиться реконфигурация. Реконфигурация – это процедура замены поврежденных реплик. Она также используется при обновлении сервера SQL операционной системы, или платформы SQL Database.

Группы доступности AlwaysOn в SQL

Функция «Группы доступности AlwaysOn» в SQL — это решение высокой доступности и аварийного восстановления, реализованное в SQL Server с версии 2012 года. AlwaysOn обеспечивает поддержку среды отработки отказов для дискретного набора пользовательских баз данных, совместно обрабатывающих отказы, и позволяет максимально увеличить доступность набора пользовательских баз данных.

Группой доступности осуществляется переход на другой ресурс на уровне реплики доступности. Проблемами баз данных не вызывается переход на другой ресурс, например удалением базы данных или повреждением журнала транзакций, обозначением базы данных как подозрительной из-за потери файла данных.

Преимущества AlwaysOn:

- Поддержка до пяти реплик доступности.
- Поддержка альтернативных режимов доступности
- Поддержка нескольких форм отработки отказа группой доступности.
- Наличие возможности настройки реплики доступности для поддержки функций активных вторичных реплик, что позволяет снизить стоимость и улучшить эффективность эксплуатации информационных технологий и за счет более рационального использования ресурсов вторичного аппаратного обеспечения.
- Для каждой группы доступности реализована поддержка прослушивателя группы доступности. Прослушивателем группы доступности является сервер, к которому подключаются клиенты для получения доступа к базе данных из первичной или вторичной реплики AlwaysOn.
- Поддержка гибкой политики отработки отказа.
- Для защиты от повреждения выполнена поддержка автоматического восстановления страниц.
- Реализована поддержка шифрования и сжатия, благодаря которым обеспечивается высокопроизводительный и безопасный транспорт.
- Для упрощения развертывания и управления группами доступности подключен интегрированный набор средств.

С использованием SQL можно определить достаточно сложное ограничение целостности и обеспечение доступности. Правильная структура таблиц позволит защитить данные от внесения неверных значений и нарушения связей. С развитием технологий специалисты Microsoft должны идти в ногу со временем и определять наилучший путь обеспечения целостности и доступности данных.

Хмельницкая Екатерина Евгеньевна – студент КФ МГТУ им. Н.Э. Баумана. E-mail: ekaterina.hmel@yandex.ru.

Москвина Анастасия Александровна – студент КФ МГТУ им. Н.Э. Баумана. E-mail: N.Haruka69@yandex.ru.

И.Д. Ершов, М.К. Савкин

ПОСТРОЕНИЕ ПЛАТФОРМЫ ДЛЯ АВТОМАТИЧЕСКОГО ТЕСТИРОВАНИЯ МОДИФИЦИРОВАННОГО ПРОГРАММНОГО КОДА

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

В настоящее время в области информационных технологий и построения программ все большее место занимает построение крупномасштабных программных средств, обладающих мощными интеллектуальными возможностями. Соответственно росту сложности программ возрастает количество выявляемых и остающихся в них дефектов и ошибок. Увеличение общего числа ошибок в программных продуктахоказывает негативное влияние на ихкачество.

Для снижения влияния негативных факторов на качество функционирования программных средств необходимо применять целый комплекс мер и методов обеспечения качества. Полное устранение дестабилизирующих факторов, оказывающих существенное влияние на качество программных средств, принципиально невозможно. Однако можно существенно уменьшить их влияние за счёт целенаправленного использования систем обеспечения качества.

Основной мыслью разработки программного обеспечения является защита от внешних воздействий злоумышленников. Для защиты используются такие методы, как обфускация, встраивание водяных знаков и привязка программного обеспечения непосредственно к используемому устройству. В процессе данных модификаций разработчик должен быть уверен, что модифицированный программный код будет функционировать ровно так же, как и исходный.

Достаточно трудно осуществлять проверку качества программного обеспечения вручную, это весьма долго и нередко приводит к ошибкам из-за наличия человеческого фактора. Одним из наиболее устоявшихся способов обеспечения качества программного продукта является автоматическое тестирование. В качестве основных видов автоматического тестирования используются модульное и интеграционное тестирование.

Модульное тестирование позволяет проверить на корректность отдельные модули исходного кода программы. Идея метода состоит в том, чтобы писать тесты для каждой нетривиальной функции или метода. Это позволяет достаточно быстро проверить, не привела ли модификация кода к появлению ошибок в уже оттестированных местах программы, а также облегчает обнаружение этих ошибок.

Интеграционное тестирование – одна из фаз тестирования, при которой отдельные программные модули объединяются и тестируются в группе. Данный вид тестирования использует в качестве входных данных модули, над которыми было проведено модельное тестирование, группирует их в более крупные множества, выполняет тесты, определенные для этих множеств, и представляет их в качестве выходных данных.

В докладе рассматривается построение платформы, выполняющей процессы автоматического тестирования модифицированного программного кода. На начальных этапах построения платформы были использованы библиотеки дизассемблера – Udis86, ассемблера – Asmpure.

В качестве примера рассмотрим простую функцию сложения двух целых чисел:

```
int test1(inta, intb)
{
        int c = a + b;
        returnc;
}
```

Для модифицирования данного программного кода преобразуем код в ассемблерное представление, используя библиотеку дизассемблера – Udis86

```
uint8_t *p1 = (uint8_t *)test1;
uint8_t *p2 = (uint8_t *)test2;
size_t size1 = p2 - p1;
ud_t ud_obj;
ud_init(&ud_obj);
ud_set_input_buffer(&ud_obj, p1, size1);
ud_set_mode(&ud_obj, 32);
ud_set_syntax(&ud_obj, UD_SYN_INTEL);
while (ud_disassemble(&ud_obj)) {
        int heapstatus = _heapchk();
        printf("\t%s\n", ud_insn_asm(&ud_obj));
}
```

В результате получим следующее:

```
push ebp
mov ebp, esp
sub esp, 0x40
push ebx
push esi
push edi
mov eax, [ebp+0x8]
add eax, [ebp+0xc]
mov [ebp+0x10], eax
mov eax, [ebp+0x10]
```

```
pop edi
pop esi
pop ebx
mov esp, ebp
pop ebp
ret
```

На данном этапе возможно проведение работ по защите программного средства путем использования обфускации, встраивания водяных знаков или привязки программного средства непосредственно к используемому устройству. Модифицированный программный код записывается в буфер для последующего ассемблирования с помощью библиотекиAsmpure.

```
CAssembler *casm;
int size, d;
int(*FunctionPtr)(int, int);
casm = casm_create();
casm_source(casm, Test);
size = casm_compile(casm, NULL, 0);
FunctionPtr = (int(*)(int, int))malloc(size);
casm_compile(casm, (unsignedchar*)FunctionPtr, size);
casm_dumpinst(casm, stdout);
int a = 1;
int b = 2;
int c = FunctionPtr(a, b);
printf("output: (%d)\n", c);
free(FunctionPtr);
casm_release(casm);
```

Тестированиемодифицированного кода будет выполняться при помощи библиотеки GoogleTest. Задача теста будет состоять в том, чтобы выполнить процессы модификации программного кода и сравнить требуемый результат с полученным:

```
TEST(TestModification, Sum)
{
    int a = 1;
    int b = 2;
    int c = FunctionPtr(a, b);
    int expected = test1(a, b);
    ASSERT_EQ(expected, c);
}
```

Заключение

Автоматическое тестирование программного продукта позволяет существенно упростить процессы проверки качества. Следующим этапом

разработки платформы будет получение структурированного представления дизассемблированного программного кода и разработка алгоритма его модификации.

Литература

[1]. Бек К. Экстремальное программирование: разработка через тестирование / К. Бек. – СПб.: Питер, 2003. – 224 с.

[2]. Щелкунов Д.А. Разработка методик защиты программ от анализа и модификации на основе запутывания кода и данных: дис. … канд. техн. наук / Д.А. Щелкунов; Московский Государственный Технический Университет им. Н.Э. Баумана. – Москва, 2009. – 142 с.

[3]. GoogleC++ TestingFramework, http://code.google.com/p/googletest/

[4]. Савкин М.К., Щелкунов Д.А., Федорова В.А. Методика автоматического тестирования программных средств обфускации; Радиопромышленность. 2013. № 3. С. 119-125.

Ершов Игорь Дмитриевич – студент КФ МГТУ им. Н.Э. Баумана. E-mail: gegobite@gmail.com.

Савкин Михаил Константинович – ассистент кафедры «Информационная безопасность автоматизированных систем» КФ МГТУ им. Н.Э. Баумана. E-mail: savkinmk@gmail.com.

УДК 004.056.53

Я.А.Бланк, М.К.Савкин

ПРИМЕНЕНИЕ НЕЯВНЫХ ПРЕДИКАТОВ ДЛЯ ОБФУСКАЦИИ ПРОГРАММНОГО КОДА

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

Программные продукты являются интеллектуальной собственностью их разработчиков. Создание качественного программного продукта требует значительных материальных и трудовых затрат. В связи с этим готовый продукт должен быть надлежащим образом защищен от неправомерного использования кода.

Одним из способов защиты программного кода является обфускация. С английского обфускация (obfuscate) переводится как запутывание, что отражает суть данного метода. Обфускацией называется процесс, в результате которого код программы приобретает вид, трудный для анализа, запутываются и устраняются логические связи в коде. После обфускации остается рабочий код, но его понимание будет сильно затруднено, а следовательно посторонним лицам гораздо сложнее понять, что и каким именно образом написано. Обфускация — относительно молодой метод, первые упоминания о его использовании как способе защиты программных продуктов появились в начале двухтысячных. Обфускацию обычно используют вместе с одним из существующих методов защиты (шифрование программного кода и т.д.), что позволяет значительно повысить уровень защиты программного продукта в целом.

Например, программа, написанная на C++, имеет вид:

```
int i=1;
while(i<1000)
{
    …A[i]
    i++;
}
```

После обфускации программа будет выглядеть следующим образом:

```
int i=11;
int c1=8, int c2=3;
while(i<8003)
{
    …A[(i-3)/8]
    i=i+8;
}
```

В некоторых случаях удобнее выполнить обфускацию лишь части кода, так как обфускация кода целиком увеличивает размер программы, что является нежелательным.

Принято выделять следующие уровни процесса обфускации:

- низший уровень, когда процесс обфускации осуществляется над ассемблерным кодом программы, или даже непосредственно над двоичным файлом программы, хранящим машинный код;
- высший уровень, когда процесс обфускации осуществляется над исходным кодом программы, написанным на языке высокого уровня.

Целями обфускации являются:

- защита кода от копирования и защита от обхода проверки лицензий;
- затруднение декомпиляции/отладки и изучения программ с целью обнаружения функциональности.

В зависимости от способа запутывания кода обфускация подразделяется на лексическую, обфускацию данных и обфускацию управления:

1.Лексическая обфускация

Данный тип подразумевает:

1. замену имен идентификаторов;
2. удаление комментариев (или замену их на дезинформирующие);
3. добавление «мусора», не влияющего при этом на работу программы;
4. изменение расположения блоков программы.

Недостаток данного способа в том, что он подходит лишь для обфускации кода программы, написанного на высокоуровневом языке программирования.

2.Обфускация данных

Обфускация данных сложнее лексической обфускации. Данный тип предполагает:

1. запутывание структуры массивов (объединение нескольких массивов в один или выделение подмассивов в одном массиве);
2. объединение переменных;
3. изменение видимости переменных и пр.

3. Обфускация управления

Этот тип предполагает:

1. расширение условий циклов;
2. добавления кода, который не будет выполняться в процессе выполнения программы;
3. переупорядочивание блоков, циклов и выражений;
4. клонирование функций и др.

Рассмотрим обфускацию управления. Значительное число преобразований, запутывающих поток управления, основано на использовании неявных (непрозрачных) предикатов. Предикат — это функция, принимающая один или более аргументов и возвращающая значения булева типа(0 или 1). Неявным же считается предикат, результат которого известен только в процессе обфускации, то есть после обфускации определение значения та-

кого предиката становится трудным. Существуют три разновидности неявных предикатов:

1.неявный предикат P^T, всегда возвращающий значение 1(истина);

2.неявный предикат P^F, всегда возвращающий значение 0(ложь);

3.неявный предикат $P^{F,T}$, который может возвращать любое из двух значений (истина или ложь).

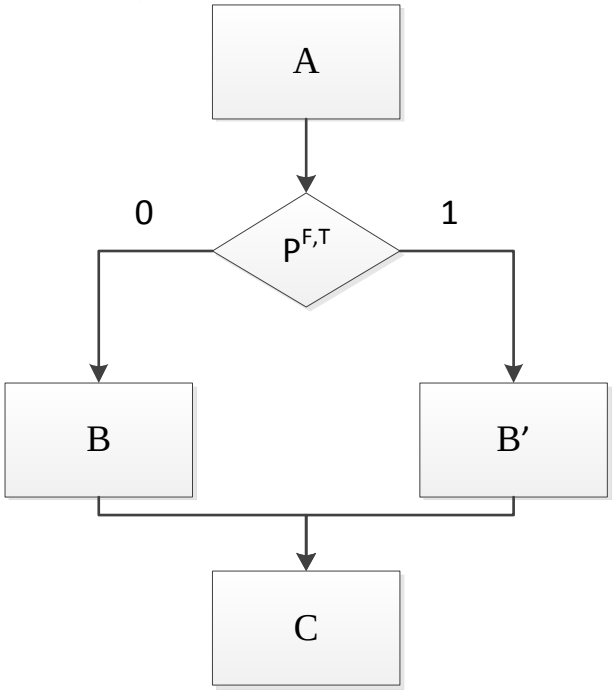


Рис.1 Использование непрозрачного предиката

На рис.1 два блока B и B', выполняющие одну и ту же функцию, после обфускации выглядят по-разному. $P^{F,T}$ – неявный предикат, который может возвращать любое из двух значений (истина или ложь). Таким образом, не зависимо от того, какой блок выполнится, программа будет работать правильно, но использования подобного рода конструкций существенно усложнит понимание алгоритма работы программы, что и требуется от обфускации.

Качество преобразований, осуществляемых в процессе обфускации, определяется с помощью следующих критериев:

1. Эффективность: насколько программа становится нечитабельной. Эффективность обфускации управления зависит от качества используемых неявных предикатов. Обфускация тем эффективнее, чем сложнее неявный предикат.

2. Устойчивость: насколько сложно взломать программу автоматизированными средствами деобфускации.

Простой непрозрачный предикат вычислить достаточно просто. По-другому дела обстоят с устойчивыми неявными предикатами. Технология статического анализа, используемая для деобфускации, испытывает слож-

ности при анализе структур указателей. Таким образом, применение устойчивых неявных предикатов делает код практически неподдающимся процессу деобфускации.

3. Стоимость: насколько велик объем избыточного кода в обфусцированном приложении.

Использование неявных предикатов увеличивает объем программы, но так как предикаты типа P^T и P^F имеют ветви, которые никогда не будут выполняться, они не влияют на время выполнения программы.

На данный момент нет такого метода, который смог бы защитить код на 100%. Однако среди известных методов обфускация с помощью неявных предикатов является одним из самых оптимальных решений для защиты программного продукта от злоумышленников.

Широкое применение неявных предикатов обусловлено в значительной степени невысокими накладными расходами в плане влияния данного запутывающего преобразования на быстродействие, и достаточно большим временем их взлома известными методами.

Не стоит также забывать, что обфускацию используют не только для защиты интеллектуальной собственности. Создатели вредоносного кода могут использовать обфускацию для того что бы спрятать вирус от антивирусных сканеров. Поэтому кроме обфускации необходимо развивать методы деобфускации.

Список литературы

[1]. https://ru.wikipedia.org/wiki/Обфускация

[2]. *Чернов А.В.* Анализ запутывающих преобразований программ. Сб. Труды Института системного программирования, под ред. В. П. Иванникова. М.: ИСП РАН, 2002.

[3]. *Варнавский Н.П., Захаров В.А., Кузюрин Н.Н., Шокуров А.В.* Современные методы обфускации программ: сравнительный анализ и классификация. *Известия Южного федерального университета. Технические науки,* 2007, №1.

[4]. http://sharcus.blogspot.ru/2011/06/blog-post.html

[5]. http://habrahabr.ru/post/202162/

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

Савкин Михаил Константинович – ассистент кафедры «Информационная безопасность автоматизированных систем» КФ МГТУ им. Н.Э. Баумана. E-mail: savkinmk@gmail.com.

УДК 621.396.677.8, 621.396

Самбуров Н.В., Мазин А.В.

СПОСОБЫ БОРЬБЫ С ПЕРЕОТРАЖЕНИЯМИ ОТ ОБТЕКАТЕЛЯ ПРИ ИЗМЕРЕНИЯХ ПОТЕРЬ

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

Введение

Для защиты антенных устройств радиолокационных станций (РЛС) от воздействий внешней среды используются различные радиопрозрачные изделия. По назначению и конструктивным особенностям различают: радиопрозрачные укрытия, окна и обтекатели. Главным электротехническим требованием к данным изделиям является требование внесения минимальных искажений ЭМВ (электромагнитной волны) при сохранении прочностных и защитных свойств.

Потери (затухания ЭМВ) являются универсальным параметром, характеризующим как качество изготовления обтекателей, так и качество используемых материалов. Потери в стенке обтекателя определяются следующим выражением [2]:

$$П = 1 - |\mathrm{R}|^2 - k_p\,, \qquad (1)$$

где $k_p = \frac{P_{дис}}{P_o}$ - коэффициент диссипативных потерь по мощности, $|\mathrm{R}|^2 = \frac{P_{отр}}{P_0}$ - коэффициент отражения по мощности.

Следует подчеркнуть, что величина коэффициента отражения $|\mathrm{R}|^2$ абсолютна и постоянна по знаку. Т.е. величина потерь $П$ включает в себя диссипативные потери и потери на отражение, и не зависит от реакции между обтекателем и апертурой антенны.

В технической литературе уделяется мало внимания вопросам, связанным с замерами потерь в обтекателях и практическим проблемам при их проведении. Ниже будут рассмотрены методы измерения потерь (затухания) ЭМВ в обтекателях регулярного типа, проблемы их практической реализации, предложен ряд способов решения проблем, связанных с переотражениями ЭМВ.

Основная часть

Влияние побочной отраженной волны на генератор измерительного устройства рассматриваться не будет, т.к., во-первых, присутствующие фидерные тракты (например, коаксиальные линии) сами по себе в какой-то являются мере развязывающими аттенюаторами, во-вторых, в современных измерительных приборах существует развязка генератора от отражен-

ной волны. Поэтому рассмотрим реакцию только в промежутке раскрыв ИА2 - обтекатель О (рис.1).

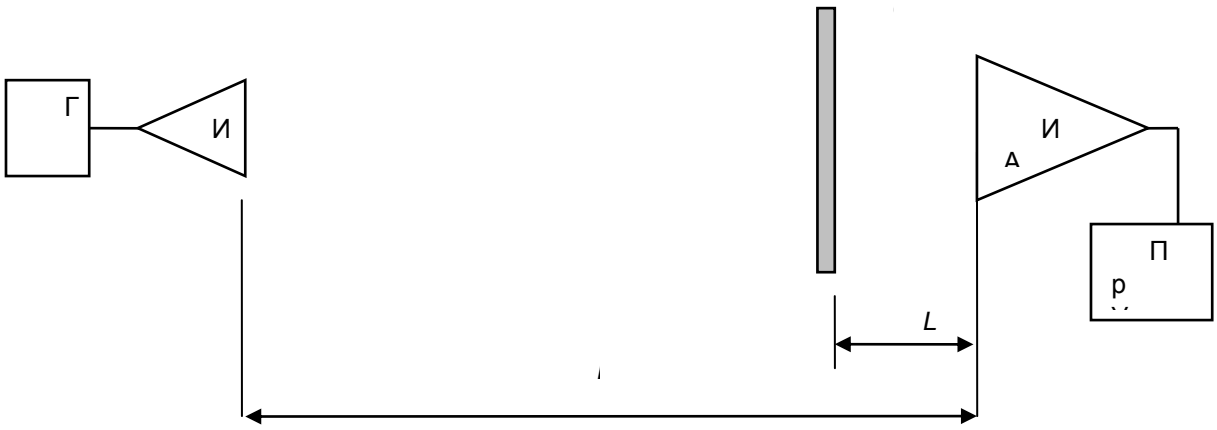


Рис. 1. Общая схема измерений методом замещения

Для антенны ИА2 и обтекателя О ненормированная ДН САО $|\mathrm{F}|^2$ для постоянной длины волны λ определяется следующим выражением [1]:

$$|\mathrm{F}|^2 = E_0{}^2 M(L)|F_A|^2, \qquad (2)$$

где E_0- напряженность падающего на обтекатель поля; $|F_A|^2$- множитель характеризующий ДН антенны ИА2; $M(L)$– коэффициент модуляции.

Коэффициент модуляции $M(L)$ представляет собой периодическую функцию с периодом $\frac{\lambda}{2}$, абсолютная величина которой изменяется гармонически при изменении L. Т.о., для антенн АИ1 и ИА2 с фиксированной ориентацией и положением сигнал на входе приемника $E_{пр}$ пропорционален величине $M(L)$:

$$E_{пр} \sim M(L).$$

Задача состоит в том, чтобы исключить влияние величины $M(L)$, а значит и расстояния до обтекателя L, на конечную величину $П$.

Одним из решений задачи может являться вариация фазы отраженной волны с φ до ($\varphi+\pi$), с последующим арифметическим усреднением измеренных величин затухания, другим - перенаправление отраженной волны мимо приемной антенны. Рассмотрим некоторые возможные способы реализации указанных решений.

1) *Способ, основанный на вариации расстояния до обтекателя*. Замеры производятся на двух расстояниях L: L_1 и L_2 (см. рис. 1), причем:

$$L_2 = L_1 + \frac{\lambda}{4}.$$

Искомая величина потерь в данном случае находится следующим образом:

$$П = \frac{E_{пр}\left(L_1\right) + E_{пр}\left(L_2\right)}{2E_{пр\,0}}. \qquad (3)$$

2) *Способ, связанный с применением диэлектрической радиопрозрачной фазирующей структуры.* Между обтекателем и ИА2 помещают однородную радиопрозрачную структуру - листовой материал толщиной

$$l_i = \frac{\lambda}{4\sqrt{\varepsilon}},$$

где ε - диэлектрическая проницаемость материала.

Важно, чтобы материал был ориентирован параллельно фронту падающей волны, потери в материале и величина ε были минимальны. Среднее арифметическое значение измеренных коэффициентов прохождения с материалом и без него и будет являться искомой величиной (расчет по аналогии с первым методом, по (3)).

3) *Способ, основанный организации двух измерительных каналов*. Для этой цели удобно использовать три измерительные антенны, а также восьмиполюсный (либо шестиполюсный) векторный анализатор цепей (ВАЦ), соединенный с данными антеннами (см. рис. 2). Расстояние L от антенн до обтекателя должно отличаться на величину $\frac{\lambda}{4}$. В этом случае фаза отраженной волны в каналах будет отличаться на π. Среднее арифметическое значение измеренных векторным анализатором S-параметров S_{21} и S_{31} и будет являться искомой величиной $E_{пр}$.

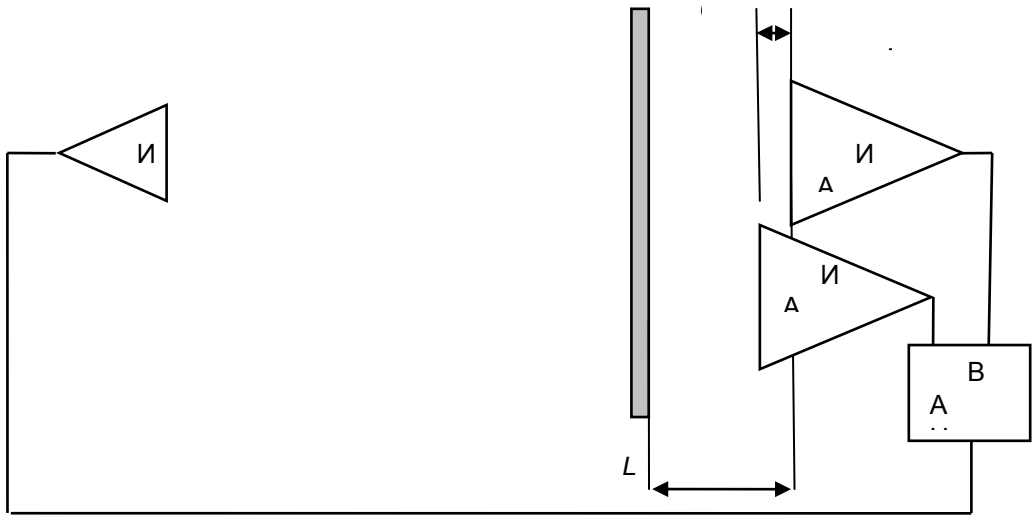


Рис. 2. Схема измерений при использовании способа организации 2-х каналов.

4) *Способ направления переотраженной ЭМВ мимо апертуры измерительной антенны*. Для исключения влияния переотраженной волны производится поворот нормали обтекателя О и направление отраженной ЭМВ мимо апертуры ИА2 (рис. 1).

5) *Способ перемещением обтекателя на расстояние* $L \geq (25..30)\lambda$ *- в зону с меньшей интенсивностью отражения.* При данном значении L пропадают осцилляции коэффициента усиления и максимума ДН для обтекателя плоской формы [1, с.68]).

Главным недостатком первого способа являются повышенные требования к точности фиксации расстояния L и ориентации обтекателя. По приблизительным оценкам, погрешность установки величин L_1 и L_2 не должна превышать величину $\Delta L = 0.016\lambda$, что довольно проблематично обеспечить с организационно-технологической точки зрения для обтекателей с высокими массогабаритными характеристиками.

Для второго способа главной проблемой является выбор материала и обеспечение его однородности и равномерности толщины. В частности, для удовлетворительной компенсации отражений средняя толщина материала l_n должна обеспечиваться с точностью $\Delta l_n = \dfrac{0.008\lambda}{\sqrt{\varepsilon}}$.

В третьем способе отсутствуют недостатки первого, связанные с точностью фиксации положения обтекателя. Более того, при автоматизированных измерениях допускается некоторая раскачка обтекателя, например, на подвесе, наличие которого (подвеса) значительно повышает оперативность измерений. Однако следует упомянуть о необходимости использования двух точно расположенных друг относительно друга приемных измерительных антенн, причем, желательно, идентичных и идентично ориентированных относительно изучаемой ИА.

Четвертый из перечисленных способов обладает простотой и оперативностью оценки вклада реакции обтекателя в величину $E_{пр}$. Однако в связи с изменением коэффициента отражения $|\mathrm{R}|^2$ данный способ может закладывать погрешности, значительно возрастающие при приближении углов падения ЭМВ к углам компенсации (согласования). Кроме того, взаимная ориентация обтекателя и излучающей апертуры может отличаться от соответствующих штатных характеристик, что противоречит описанной выше общей методике.

Главной проблемой всех вышеперечисленных способов вариации фазы (способы 1-3) является их потенциальная узкополосность, вызванная зависимостью результатов измерений от длины волны.

Заключение

Предложены способы борьбы с влиянием отражений от регулярных обтекателей. Реализация каждого из способов вызывает специфические технические трудности, связанные с геометрическими точностями расположения и ориентации обтекателя и измерительных антенн, а также от несущей длины волны.

Литература

[1]. *Каплун В.А* "Обтекатели антенн СВЧ". М.: "Советское радио", 1974.

[2]. *Гуртовник И.Г., Соколов В.И, Трофимов Н.Н., Шалгунов С.И*. Радиопрозрачные изделия из стеклопластиков / Под ред. *В.И. Соколова*. М.: "Мир". 2003.

Самбуров Николай Викторович – Начальник отдела ОАО "ТАЙФУН". E-mail: ybrjkfq78@mail.ru.

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 004.056.57

О.В. Синотова

ШПИОНСКОЕ ПРОГРАММНОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ(SPYWARE)

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

Рассмотрены вопросы возникновения, распространения шпионского программного обеспечения, задачи, выполняемые шпионским программным обеспечением. Выяснено какими путями данное программное обеспечение может попасть на компьютер пользователя, какие компоненты использует Spyware для своей слаженной работы. Рассмотрена история развития Spyware, показана статистика этого периода, а также сказана, как можно снизить риск заражения шпионским программным обеспечением, какие меры следует предостерегать.

Несколько лет назад существовали лишь проблемы, связанные с компьютерным вирусом (программы, способные заражать другие приложения путем внедрения в них своего машинного кода).В настоящее время ситуация намного усложнилась. Появилось огромное количество вредоносных программ, которые нельзя считать вирусами, например,шпионское программное обеспечение (Spyware). Spyware – это программа, которая скрытным образом устанавливается на компьютер с целью сбора информации о конфигурации компьютера, пользователе, пользовательской активности без согласия последнего.Также могут производиться другие действия: изменение настроек, установка программ без ведома пользователя, перенаправление действий пользователя.

Шпионское программное обеспечение может осуществлять широкий круг задач, в частности:сбор информации о пользователях интернета и наиболее посещаемых сайтах;запоминание нажатия клавиш на клавиатуре и записывание скриншотов экрана с дальнейшей отправкой информации создателям шпионского программного обеспечения;удалённое несанкционированное управление компьютером; инсталляция на компьютере пользователя дополнительных программ; использование сканеров портов, их уязвимостей и взломщиков паролей; изменение параметров операционной системы; перенаправление активности браузеров, что влечёт за собой посещение веб-сайтов вслепую с риском заражения вирусами.

Шпионское программное обеспечение может попасть на компьютер пользователя двумя основными путями:

- в ходе посещения сайтов Интернет. Наиболее часто проникновение шпионского ПО происходит при посещении пользователем хакерских и

warez сайтов, сайтов с бесплатной музыкой. Как правило, для установки шпионского ПО применяются ActiveX компоненты или троянские программы категории TrojanDownloader по классификации лаборатории Касперского;

- в результате установки бесплатных или условно-бесплатных программ. Самое неприятное состоит в том, что подобных программ существует великое множество, они распространяются через Интернет или на пиратских компакт-дисках. Классический пример - кодек DivX, содержащий утилиту для скрытной загрузки и установки SpyWare.Gator. Большинство программ, содержащих SpyWare-компоненты, не уведомляют об этом пользователя.

Согласно данным AOL и NationalCyber-SecurityAlliance от 2005 года 61% респондентных компьютеров содержали ту или иную форму spyware, как выяснилось, из них 92 % пользователей не знали о присутствии spyware на их компьютерах и 91 % сообщили, что они не давали разрешения на инсталляцию данного программного обеспечения.

Уже к 2006 году spyware стали одним из превалирующих угроз безопасности компьютерных систем, использующих Windows. Компьютеры, в которых InternetExplorer служит основным браузером, являются частично уязвимыми из-за тесной интеграции с Windows, позволяющейspyware получать доступ к ключевым узлам операционной системы.

До релиза InternetExplorer 7 браузер автоматически выдавал окно инсталляции для любого компонента ActiveX, который веб-сайт хотел установить. Сочетание наивной неосведомлённости пользователя по отношению к spyware и предположение InternetExplorer, что все компоненты ActiveX безвредны, внесло свой вклад в массовое распространение spyware. Реестр Windows содержит множество разделов, которые после модифицирования значений ключей позволяют программе исполняться автоматически при загрузке ОС. Spywaretакже могут использовать шаблон обхождения попыток деинсталляции и удаления.

Spyware обычно присоединяют себя из каждого местонахождения в реестре, позволяющего исполнение. Будучи запущенным, spyware контролирует периодически, не удалено ли одно из этих звеньев. Если да, то оно автоматически восстанавливается. Это гарантирует, что spyware будет выполняться во время загрузки операционной системы, даже если некоторые звенья в реестре автозапуска удалены.

К мерам предотвращения заражения можно отнести следующее:

- использование браузеров, отличных от InternetExplorer — Opera, MozillaFirefox и др.;

-использование файерволов и прокси-серверов для блокировки доступа к сайтам, известным как распространители spyware;

- использование hosts-файла, препятствующего возможности соединения компьютера с сайтами, известным как распространители spyware.

Однако spyware легко могут обойти этот тип защиты, если производят соединение с удалённым хостом по IP-адресу, а не по имени домена;

- скачивание программ только из доверенных источников (предпочтительно с веб-сайтов производителя), поскольку некоторые spyware могут встраиваться в дистрибутивы программ;

- использование антивирусных программ с максимально «свежими» вирусными базами.

Синотова Ольга Валерьевна – студент КФ МГТУ им. Н.Э. Баумана. E-mail: sinotova.olga2015@yandex.ru.

СЕКЦИЯ 13.

ДИНАМИКА, ПРОЧНОСТЬ И НАДЕЖНОСТЬ ПОДЪЕМНО-ТРАНСПОРТНЫХ, СТРОИТЕЛЬНЫХ, ДОРОЖНЫХ МАШИН И ОБОРУДОВАНИЯ

УДК 621.867

Н.М. Борискина, Е.А. Витушкина, В.А. Подгорбунский

АНАЛИЗ СРЕДНЕЙ СКОРОСТИ ТРАНСПОРТИРОВАНИЯ В КАЧАЮЩЕМСЯ ВИБРАЦИОННОМ КОНВЕЙЕРЕ

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

Для различных прикладных задач значительный интерес представляет определение средней скорости движения частицы в установившихся режимах, изучение характера движения частицы в зависимости от параметров колебаний качающегося конвейера, параметров дополнительного силового поля и параметров частицы [1].

Вычисление средней скорости не вызывает существенного затруднения, так как в предыдущих работах найдены моменты перехода от одного этапа движения к другому в установившемся движении. Зная эти моменты, можно определить перемещение частицы S за один период переключений T как алгебраическая сумма перемещений. После этого средняя скорость движения определяется по формуле:

$$V = \frac{S}{T} \tag{1}$$

Таким образом, с учетом предыдущих исследований можно определить среднюю скорость в установившихся режимах движения частицы в качающемся вибрационном конвейере. Выражение для средней скорости транспортирования можно записать в следующем виде с учетом предыдущих исследований [2].

$$V = \frac{A\omega}{2\pi cos\rho}\Big\{\cos(\beta-\rho)\Big[-Z_+\frac{(\varphi_+-\delta_+^*)^2}{2} + sin\varphi_+ + sin\delta_+^* + (\varphi_+ -$$

$$\delta+*cos\delta+*-\cos\beta+\rho[-Z-\varphi--\delta-*22-sin\varphi-+sin\delta-*+\varphi--\delta-*cos\delta-*] \tag{2}$$

Для различных режимов движения, имеющих наибольшее практическое применение, выражения для средней скорости движения в качающемся вибрационном конвейере значительно можно упростить из-за отсутствия скольжения в одном из направлений. Для режима 4А, когда, движение частицы в обратном направление отсутствует S_-=0 средняя скорость движения имеет следующий вид:

$$V = \frac{S_+}{T} = \frac{A\omega\cos(\beta-\rho)}{2\pi cos\rho}F(Z_+,\delta_+^*) \tag{3}$$

Для режима движения частицы назад при отсутствии движения вперед S_+ =0 средняя скорость движения имеет следующий вид:

$$V = \frac{S_-}{T} = \frac{A\omega \cos(\beta + \rho)}{2\pi cos\rho} F(Z_-, \delta_-^*) \quad (4)$$

Сравнивая эти уравнения (3) и (4) можно отметить, что при неизменных амплитуде А и ускорении ω, в углах α и β, при коэффициенте мгновенного трения λ, коэффициенте восстановления R и скоростей воздушного потока V_x и V_y , средняя скорость вибротранспортирования прямо пропорциональна амплитуде скорости колебаний A_ω. Заданный уровень ускорения колебания плоскости целесообразно обеспечивать путем выбора наибольшего возможного значения амплитуды или наименьшей допустимой частоты колебаний.

Значительное влияние на среднюю скорость вибротранспортирования оказывают параметры дополнительного силового поля V_x и V_y.

Для движения частицы вперед увеличение горизонтальной скорости воздушного потока V_x вызывает уменьшение средней скорости вибротранспортирования, а при движении назад сопровождается увеличением отрицательной средней скорости виброперемещения. Увеличение вертикальной составляющей воздушного потока V_y способствует увеличению средней скорости движения частицы как для режима 4А, то есть при движении вперед, так и для режима 4Б, что вызывает увеличение производительности качающегося вибрационного конвейера.

ЛИТЕРАТУРА

[1]. Блехман И.И., Джанелидзе Г.Ю. Вибрационное перемещение. – М.: Изд-во Наука, 1964.-412 с.

[2]. Бауков И.А., Борискина Н.М., Витушкина Е.А. Анализ режимов движения качающихся вибрационных конвейеров // материалы Региональной научно-технической конференции 2014г. Т.3.-М.: Издательство МГТУ им. Н.Э.Баумана, 2014. – 34-38 с.

Борискина Надежда Михайловна – канд. техн. наук, доцент КФ МГТУ им. Н.Э. Баумана. E-mail: k3kf@yandex.ru.

Витушкина Евгения Алексеевна – ст. преп. КФ МГТУ им. Н.Э. Баумана. E-mail: k3kf@yandex.ru.

Подгорбунский Василий Александрович – студент КФ МГТУ им. Н.Э. Баумана. E-mail: vasily-podgorbunsky@yandex.ru.

А.А. Шубин, П.В. Витчук, А.В. Федоров

ВАРИАНТЫ КОМПЛЕКСНОЙ МОДЕРНИЗАЦИИ ШПАЛОПОДБОЙКИ

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

В данной статье представлены варианты комплексной модернизации шпалоподбойки, позволяющие улучшить вибрационные показатели и мобильность, повысить производительность, а также значительно повысить безопасность труда при выполнении ремонтных работ.

Значительную роль при механизации ремонтных работ на железнодорожных путях играет механизированный путевой инструмент. Однако, применение подобных комплексов является нецелесообразным при мелком ремонте, так как требует остановки движения составов и сопровождается высокими эксплуатационными расходами.

На основе сравнительного анализа эксплуатационных характеристик широкого спектра инструмента можно сделать вывод, что электрошпалоподбойка является наименее технологичным инструментом, требующим от монтера пути значительных физических затрат.

Следует также отметить, что работы по уплотнению балласта при помощи электрошпалоподбойки оказывают наиболее негативное воздействие на организм монтера. Так, работа с электрошпалоподбойкой сопряжена с большими физическими нагрузками, а также вызывает у монтера пути специфические болезни, обусловленные сильной вибрацией.

Таким образом, работа, направленная на снижение массы инструмента и повышение мобильности, а также повышения комфорта работы с ним приобретает крайне важное значение. Эти мероприятия обусловлены также требованием возможности быстрой уборки иструмента с пути для пропуска поездов. Следовательно, при выборе направлений дальнейшей модернизации путевого электроинструмента следует акцентировать внимание на возможности его эксплуатации в условиях автономного питания.

Рассмотрим выпускаемую серийно электрошпалоподбойку ЭШП9-М3 и различные варианты ее модернизации.

Конструкция ЭШП9-М3 представлена на рис. 1. Управление электрошпалоподбойкой осуществляется при помощи рукояти 1. Уплотнение балласта выполняется подбивочным полотном 4, вибрация которого создается вибратором 5, приводимого во вращение электродвигателем 6, питание к которому подводится через штекер 3. Для снижения вибраций, передаваемых монтеру, предусмотрены амортизаторы 2.

Выправка пути с подбивкой шпал осуществляется четырьмя или восемью электрошпалоподбойками бригадами монтеров пути в составе до 17 человек [1].

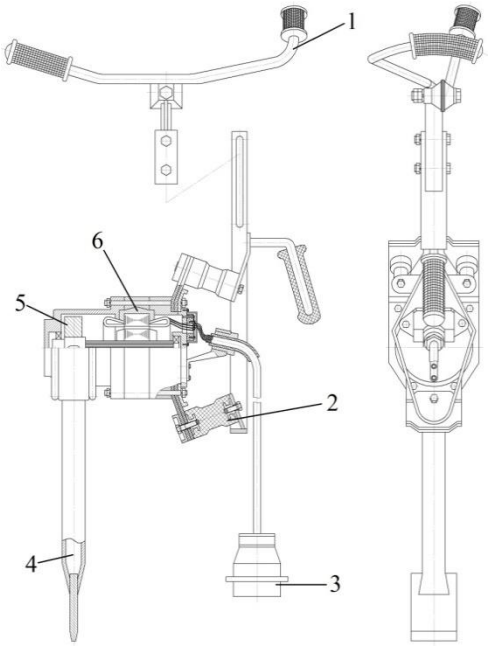


Рис.1 - Электрошпалоподбойка ЭШП9-М3: 1 – рукоять; 2 – амортизатор; 3 – штекер; 4 – подбивочное полотно; 5 – вибратор; 6 – электродвигатель

К недостаткам ЭШП9-М3 можно отнести: 1) зависимость от источника электроэнергии, что негативно сказывается на мобильности; 2) необходимость многократного повторения операций при подбивке полотна; 3) значительная масса для ручного инструмента; 4) амортизаторы расположены между рукоятью и вибратором, что приводит к значительным вибрациям при работе; 5) возможность поражения рабочих электрическим током.

Первый вариант модернизации электрошпалоподбойки заключается в замене плоского подбивочного полотна на клиновой подбойник (рис. 2). Конструктивно клиновой подбойник представляет собой вибратор ненаправленного действия. Внутри корпуса 4 расположен дебаланс 3, вращающийся на валу 1. При его вращении возникает неуравновешенная центробежная сила инерции. Вал вращается в двух подшипниках качения 2, посаженных с натягом в корпусе клинового подбойника. Вал подбойника и вал электродвигателя соединены между собой втулочной муфтой со шлицевым посадочным отверстием.

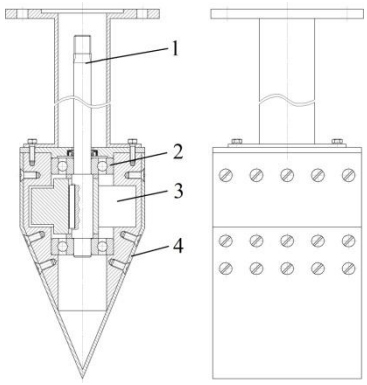


Рис. 2 - Клиновой подбойник:
1 – вал; 2 – подшипник;
3 – дебаланс; 4 – корпус

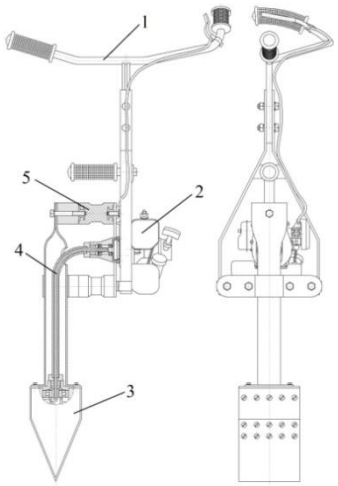


Рис. 3 - Шпалоподбойка с бензиновым двигателем и клиновым подбойником:
1 – рукоять; 2 – бензиновый двигатель;
3 – клиновой подбойник; 4 – гибкий вал; 5 – амортизатор

Выявляются следующие преимущества клинового подбойника: 1) одновременная подбивка балласта под две шпалы; 2) вертикальное заглубление подбивочного клина; 3) на основе одновременной подбивки двух шпал в два раза повышается производительность электрошпалоподбойки; 4) скомпенсированные силы подбивки позволяют осуществлять равномерную подбивку балласта; 5) дебаланс установлен внутри подбойника и максимально приближен к зоне уплотнения, что повышает эффективность работы и значительно снижает уровень вибрации.

Для питания шпалоподбоек применяется дизельный или бензиновый генератор, при этом большое количество времени тратится на подготовку к работе, установку генератора и подключение кабелей. Кроме того, любой переносной инструмент с электроприводом должен заземляться отдельным проводом от корпуса электродвигателя или через четвертый провод четырехжильного кабеля. Более того, при работе с электрошпалоподбойкой существует вероятность поражения электрическим током.

Для устранения перечисленных выше недостатков предлагается заменить электродвигатель на бензиновый двигатель внутреннего сгорания. Одним из главных преимуществ такой конструкции является высокая мобильность, а также, применение бензиновой шпалоподбойки экономически целесообразно при работах по замене отдельных шпал. Другим важным преимуществом такой конструкции является наличие в двигателе центробежной муфты, которая при низкой частоте вращения вала электродвигателя (на «холостом ходу») не передает крутящего момента.

На рис. 3 представлен вариант бензиновой шпалоподбойки с использованием клинового подбойника. Конструкция не имеет аналогов. На основе предварительного анализа ее применение может обеспечить следую-

щие преимущества: 1) автономность и мобильность работы; 2) сокращение затрат времени на подбивку; 3) возможность использования сменных накладок; 4) повышение эффективности уплотнения на основе размещения дебаланса в подбойнике; 6) улучшенные вибрационные показатели; 6) сниженная масса.

Таким образом, были разработаны несколько вариантов модернизации электрошпалоподбойки ЭШП9-М3. В случае применения клинового подбойника возможно добиться существенного повышения производительности шпалоподбойки. На основе использования в качестве силовой установки двигателя внутреннего сгорания возможно значительное повышение мобильности шпалоподбойки, безопасности и комфорта монтера пути. Эти факторы также косвенно влияют на увеличение производительности работ. В случае применения и клинового подбойника и бензинового двигателя можно говорить о создании принципиально новой модели шпалоподбойки, объединяющей в себе все преимущества двух предшествующих вариантов модернизации.

ЛИТЕРАТУРА

[1]. Крейнис З.Л., Коршикова Н.П. Техническое обслуживание и ремонт железнодорожного пути. -М.: УМК МПС России, 2001. 768 с.

[2]. Асташев В.К. Вибрации в технике. Т. 6 -М.: Машиностроение, 1981.

[3]. Путевой механизированный инструмент: справочник. В.М. Бугаенко, Р.Д.Сухих, И.М. Пиковский и др. / – под ред. В.М. Бугаенко, Р.Д.Сухи -М.: Транспорт, 2000. 368с.

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.

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.

Федоров Александр Васильевич – студент КФ МГТУ им. Н.Э. Баумана. E-mail: fedorov@nxt.ru

А.А. Шубин, И.М. Гулиев

ДИНАМИКА РАЗВИТИЯ ПАССАЖИРСКИХ КАНАТНЫХ ДОРОГ НА ОАО “КУРОРТ ЭЛЬБРУС”

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

Рассмотрена динамика развития горнолыжного курорта ОАО ”Курорт Эльбрус”, с использованием на донном курорте пассажирских подвесных канатных дорог (ПКД). Проведен анализ необходимости установки канатных дорог, гондольного типа нового поколения”РОМА”.

Ключевые слова: *канатная дорога, гондола, пропуская способность, фуникулер, канатно-кресельная дорога, бугель, РОМА, Rollgliss R500 DBI-SALA.*

На склонах горы Эльбрус в данный момент расположено 7 подъемников. Две очереди новой пассажирской канатной дороги (ПКД) гондольного типа, две очереди маятникового подъемника, одна очередь канатно-кресельной дороги и две очереди бугельных дорог. Идет строительство третьей очереди канатных дорог гондольного типа нового поколения, которая будет доставлять туристов и любителей экстремальных видов спорта на высоту 3800 метров над уровнем моря[1].

Так как построенные еще в 60-70х годах прошлого века маятниковые и кресельные канатные дороги не справляются с потоком отдыхающих, на их замену приходят новые модели канатных дорог гондольного типа.

Технические характеристики новых моделей канатных дорог фирмы “РОМА” в разы превосходят показатели своих предшественником, так например кабины гондол (рис.1) вмещают от 6 до 24 человек в зависимости от модели самой гондолы, оборудованы подогревом сидений, а с наружи предусмотрены специальные ниши для лыж. Максимальная скорость движения гондол составляет 6 м/с. Пропускная способность дорог до 3000чел/час.[2]

Рис.1. Гондола канатной дороги “РОМА”.

При проектировании и эксплуатации различных типов ПКД особое внимание уделяется безопасности пассажиров. При эксплуатации ПКД проводится периодическое обследование и диагностирование элементов металлоконструкций, узлов и механизмов канатной дороги.

Во время работы ПКД могут возникать нештатные ситуации, приводящие к остановке дороги, в следствии чего пассажирам приходится находиться в кабинах ожидая эвакуации длительное время. В свою очередь спасателям сложно добраться до кабин по причине значительной высоты зависания кабин (до 100м), поэтому время ожидания эвакуации может составлять от 6 до 8 часов. В связи с этим актуальным становится вопрос организации и обеспечения технической возможности самостоятельной эвакуации пассажиров из гондол (кабин) [3].

Если новые ПКД могут быть оснащены системой индивидуальной эвакуации на этапе изготовления, то на уже эксплуатируемых ПКД курорта Эльбрус отсутствуют системы индивидуальной эвакуации пассажиров, в следствии чего, встает задача дооборудования гондол (кабин) системами эвакуации.

В настоящее время фирмой “DBI-SALA & Capital Safety” предлагается спуско-подъемное устройство “Rollgliss R500” которым оборудуются некоторые ПКД (рис.2)[4]. Данная система обеспечивает управляемый спуск, внешний или самостоятельный, самостоятельную экстренную эвакуацию зависшего пострадавшего. Современное устройство, используемое для быстрого и безопасного спасения, весьма разносторонне и долговечно. Для обеспечения быстрого и безопасного спасения устройству Rollgliss

R500 придана функция управляемого спуска со скоростью 0,6-0,9 метров в секунду. Уникальная конструкция, дающая возможность двигаться в двух направлениях, позволяет одному концу спасатаельной веревки спускаться в то время, как другой конец поднимается при подготовке к спасению другого человека.

Рис.2. Спасательное (спуско-подъёмное) устройство
Rollgliss R500 DBI-SALA.

Для обеспечения максимальной надежности и эффективности конструкции, предусмотрено использование высококачественных коррозионностойких материалов, а также суперстатических веревок диаметром 9,5 миллиметров с защищенной сердцевиной. Система может использоваться на высоте до 300 метров для одного пользователя весом до 136 килограммов(по американскому стандарту ANSI) или на высоте до 100 метров для двух пользователей общим весом до 248 килограммов. Система доступна как, в виде отдельного спускового устройства, так и в формате удобного комплекта.

На ряду с рассмотренной конструкцией, существуют и другие мобильные устройства, предназначенные для эвакуации людей из высотных зданий при ЧС[5] и проведении спасательно-эвакуационных работ альпинистов[6]. Эти системы состоят из подвески парашютного типа и индивидуального инерционного устройства, которое прикрепляются к спущенному вниз канату. Устройство позволяет регулировать скорость спуска в допустимых пределах, в зависимости от веса человека.

Комплексная задача комфортного и безопасного подъема отдыхающих с использованием ПКД на ОАО “Курорт Эльбрус” включает в себя в том числе и безопасную их эвакуацию. Рассмотренные выше системы позволяют эту задачу выполнить. При выборе того или иного устройства для

оборудования кабин основными критериями являются: надежность и эффективность, максимальная высота проведения спасательных работ, возможность установки на уже существующие кабины и цена.

Список литературы

[1]. Канатные дороги на склоне Эльбруса. http://www.5642-elbrus.com/index.php/kanatnyedorogi/kompleks-kanatnykh-dorog-na-sklone-elbrusa

[2]. Гондольные канатные дороги. http://gorimpex.ru/postavka/gondolnye-kanatnye-dorogi/

[3]. Аварийная остановка пассажирской канатной дороги в Крыму и Итальянских Альпах http://www.youtube.com/watch?v=VrCSO8izPRI http://www.youtube.com/watch?v=CIWxf0rnMco

[4]. Спасательное (спуско-подъёмное) устройство Rollgliss R500 DBI-SALA. http://www.fallprotectionusa.com/DBI/Rescue/Rollgliss-Rescue/R550-Rescue-and-Descent-Device.html

[5]. Индивидуальная эвакуационная система с карабином EASHOOK. http://www.petzl.ru/promalp/catalog/288_313/490.html

[6]. Система DST020 Десантер DESCENT http://www.safe-tec.ru/products/sistemy_evakuatsii_tochki_krepleniya/desanter_descent/

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.

Гулиев Ильяс Магомедович – студент КФ МГТУ им. Н.Э. Баумана. E-mail: iliaswolf007@gmail.com.

С.Л. Заярный, Н.С. Васильев

ИССЛЕДОВАНИЯ СВОЙСТВ ЭКВИВАЛЕНТНОГО СЛОЯ СФОРМИРОВАННОГО ДИСКРЕТНЫМ КОНТАКТНЫМ ВЗАИМОДЕЙСТВИЕМ ЭЛЕМЕНТОВ ТЯГОВОГО ПРИВОДА

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

Проблема повышения долговечности и расширение области применения соединений деталей машин является важной научно-технической проблемой. Долговечность этих соединений определяется степенью обеспечения их «неподвижности» в стыке при действии переменных нагрузок. В общем случае соединение деталей машин можно представить в виде системы состоящей из трех элементов: ведущий элемент, эквивалентный слой, ведомый элемент. При этом в качестве эквивалентного слоя рассматривается виртуальное пространство в пределах сопряжения элементов соединения. Свойства эквивалентного слоя определяются совокупность конструктивных и технологических факторов, которые влияют на условия взаимодействия элементов соединения при передаче нагрузки.

К контактным взаимодействиям первого рада можно отнести взаимодействие в соединении с натягом [1]. Для исследования эквивалентного слоя такого соединения нами был разработан стенд, представленный на рисунке 1. Стенд состоит из силового блока 3, рычажной системы 2 и нагружаемого элемента 1. Стенд обеспечивает нагружение исследуемого соединения крутящим моментом. В качестве силового блока используется гидравлический пресс для статических испытаний на растяжение и сжатие, оборудованный контрольно-измерительным комплексом.

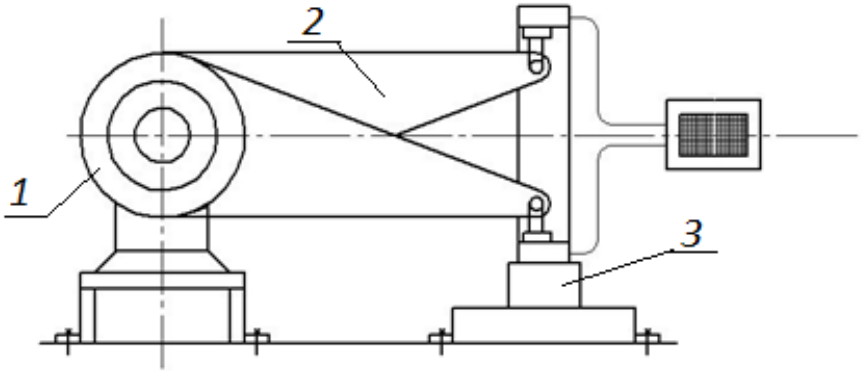


Рис. 1. Схема стенда для испытания соединений деталей машин

К контактным взаимодействиям второго рода можно отнести взаимодействие в соединении канатоведущего шкива и каната. При этом пятном контакта формируется совокупностью дискретных взаимодействий.

С целью исследования контактных взаимодействий второго рода нами разработано имитационное устройство (рис. 2), которое устанавливается в стенд рис. 1 в качестве нагружаемого элемента.

Имитационное устройство состоит из клипс 4, имеющих профиль клинового ручья, между которыми концы каната 5, зажимаются болтовым соединением 6, 7. Клипсы соединены с рычажной системой 2 стенда рис. 1 при помощи осей 3 закрепленных гайками 2.

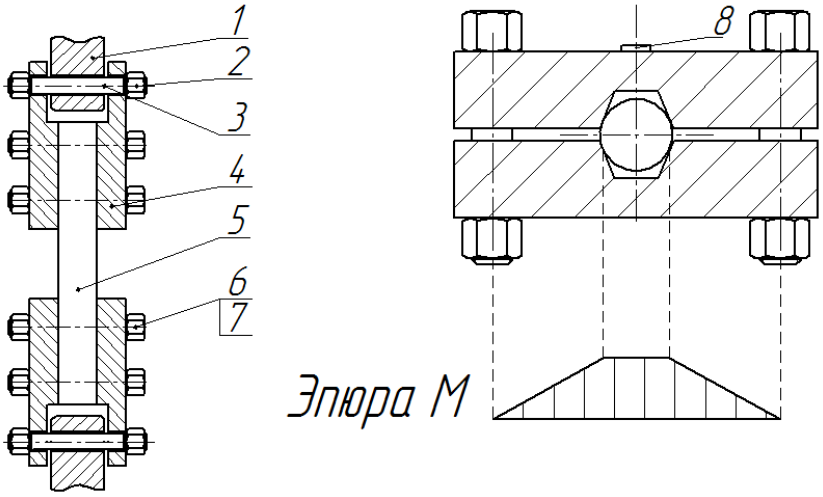


Рис. 2. Имитационное устройство для исследования контактного взаимодействия второго рода.

Признаком отсутствия скольжения и достаточности величины силы трения на поверхности шкива служит неравенство:

$$M_{тр} \geq M_{пр}, \tag{1}$$

где $M_{тр}$ – момент трения; $M_{пр}$ – момент, передаваемый канатоведущему шкиву приводом лифта.

Момент трения, относительно оси вращения канатоведущего шкива определяется по формуле:

$$M_{тр} = (T_1 + T_2) \cdot f \cdot R, \tag{2}$$

где T_1 и T_2 – большая и меньшая сила натяжения канатов со стороны кабины и противовеса соответственно; R – радиус канатоведущего шкива. [2]

Передаваемый приводом лифта канатоведущему шкиву момент рассчитывается по формуле:

$$M_{тр} = F_{пр} \cdot R, \tag{3}$$

где $F_{пр}$ – сила, приложенная в точке касания канатоведущего шкива с лифтовым канатом.

Подставив в выражение (1) выражения (2) и (3) получим зависимость:

$$f \geq \frac{F_{пр}}{(T_1 + T_2)}. \tag{4}$$

Усилие затяжки болтового соединения 6, 7 имитирует усилие прижатия каната к канатоведущему шкиву, то есть данная величина есть не что иное, как сумма наибольшей и наименьшей силы натяжения каната. С це-

лью определения этого усилия на клипсу устанавливается тензодатчик 8, показывающий напряжения в сечении с постоянным изгибающим моментом (рис. 2). Зная параметры сечения и величину напряжения можно определить значение изгибающего момента:

$$M = \sigma \cdot W, \tag{5}$$

где W – момент сопротивления сечения, σ – величина напряжения.

Следовательно, для определения усилия затяжки нам необходимо только найти расстояние между болтом и точкой касания канатом клинового ручья. Это можно сделать, например, с помощью пластичной массы, которую укладывают в ручей, затем, прижимая канат, находят точку контакта каната с ручьём.

Зависимость, характеризующая свойства эквивалентного слоя, имеет вид графика (рис. 3). Кривая АБ характеризует упругое взаимодействие элементов не приводящее к износу. Кривая БВ характеризует упругое взаимодействие с проскальзыванием, приводящее к износу каната и канатоведущего шкива. Значения, находящиеся дальше точки В характеризуют скольжение, т.е. достигается предельное состояние, когда коэффициент трения максимален.

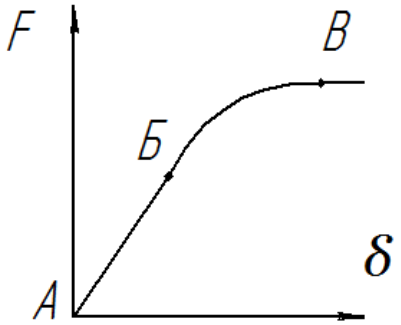


Рис. 3. Зависимость, характеризующая свойства эквивалентного слоя

Предложенную схему стенда предполагается реализовать в условиях лаборатории статических испытаний кафедры «Сопротивления материалов» КФ МГТУ им. Н.Э. Баумана.

Список литературы

[1]. Гречищев Е. С, Ильяшенко А. А. Соединения с натягом: Расчеты, проектирование, изготовление. — М.: Машиностроение, 1981. — 247 с.

[2]. Федорова З. М., Лукин И.Ф, Нестеров А.П. Подъёмники. – Киев: Высшая школа, 1976 – 296 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.

Васильев Никита Сергеевич – студент КФ МГТУ им. Н.Э. Баумана. E-mail: nizier.v@gmail.com.

УДК 621.315.66

А.А. Шубин, А.Д. Рыжкова, Н.М. Борискина

К ВОПРОСУ ОБ УСТОЙЧИВОСТИ СПЕЦИАЛИЗИРОВАННОГО КОМПЛЕКСА ПРИ РАБОТЕ ПО ВОССТАНОВЛЕНИЮ И РЕМОНТУ КОНТАКТНОЙ СЕТИ

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

В работе проведён анализ возможности использования в качестве программно-аппаратной системы стабилизации и защиты от опрокидывания прибора, разработанного в среде LabVIEW. Обоснована эффективность его применения. Предложено его применение на комплексе для установки опор контактной сети на базе автомотрисы АКС-01 производства ОАО «Калужский завод «Ремпутьмаш».

Ключевые слова: *прибор, система, устойчивость, стабилизация, LabVIEW*

Концепция специализированного комплекса. Для установки опор и монтажа элементов контактной сети предлагается разработать многофункциональный комплекс [1], состоящий из автомотрисы (1) АКС-01 производства ОАО «Калужский завод «Ремпутьмаш» и несамоходной платформы (2) на базе грузовой 4-хосной платформы 13-401 грузоподъемностью 63 тонны. (Рис.1).

На несамоходной платформе (2) смонтирована установка УБМ-85 (3) производства ОАО «Стройдормаш» г. Алапаевск для установки свай под опоры контактной сети [2] и открытый контейнер для транспортировки опор и свай (4).

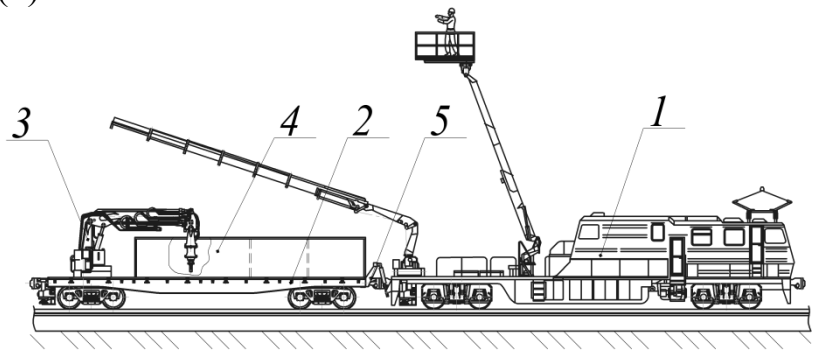


Рис. 1. Многофункциональный комплекс: 1 - автомотриса на базе автомотрисы АКС-01, 2 - несамоходная платформа, 3 - УБМ-85, 4 - открытый контейнер, 5 - стабилизирующие опоры

Вопрос стабилизации и сохранения устойчивости комплекса при работе манипуляторов является главным при его проектировании. Установ-

ленные в зоне работы УБМ-85 аутригеры и жесткая блокировка (5) платформы и автомотрисы необходимы для повышения устойчивости комплекса при монтаже свай.

Предлагается оснастить автомотрису электронной системой стабилизации и контроля устойчивости. На рис.2 представлен интерфейс программы, осуществляющей работу этой системы, разработанной в среде LabVIEW [3], [4]. Он включает в себя следующие элементы: два графических экрана, на которых отображается текущее положение стрелы манипулятора, границы рабочей зоны и габариты автомотрисы, цифровые индикаторы вылета и высоты подъема, элементы управления аутригерами. Включение и отключение аутригеров происходит тумблерами на панели, а регуляторы позволяют задавать вылет опор. Картинка на экранах отображается в реальном времени, в зависимости от данных с датчиков вылета, грузоподъемности и положения стрелы манипулятора. Имея на входе эти данные, программа рассчитывает устойчивость данного положения автомотрисы, выводит предупреждение и запрещает работу механизма, если положение не устойчиво и конец стрелы выходит за границы рабочей зоны. При включении оператором одного или двух аутригеров происходит перерасчет устойчивости в зависимости от вылета опор и того, какая из них была активирована. Происходит изменение доступной рабочей зоны, что отражается на нижнем экране.

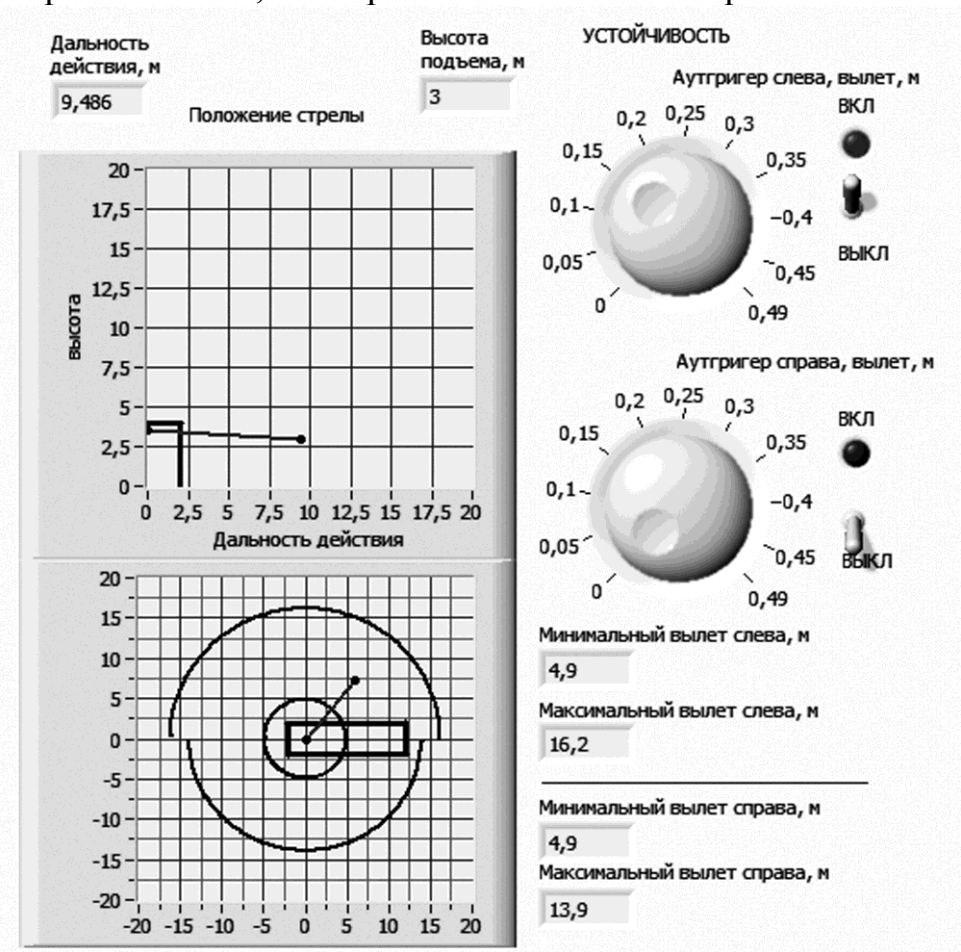


Рис. 2. Лицевая панель прибора электронной системой стабилизации

Применение предлагаемой системы вместе с прибором ограничения грузового момента позволит избежать аварийных ситуаций при работе автомотрисы.

ЛИТЕРАТУРА

[1]. Шубин А.А., Рыжкова А.Д. Многофункциональный комплекс для восстановления и ремонта контактной сети на железной дороге // Наукоемкие 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. – С. 332.

[2]. Универсальная бурильная машина УБМ-85 URL: http://sdm-zavod.ru/products/manipulyatory-dlya-bureniya-i-pogruzheniya-vintovyh-svay/ubm-85 (дата обращения 03.03.2015)

[3]. Трэвис Д., Кринг Д. LabVIEW для всех. - М.: ДМК Пресс, 2011

[4]. Электронно - библиотечная система «Издательство Лань»: http://e.lanbook.com/books/element.php?pl1_id=1094 Блюм П. LabVIEW: Стиль программирования: "ДМК Пресс",2010, - с. 400

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.

Борискина Надежда Михайловна – канд. техн. наук, доцент кафедры «Детали машин и подъемно-транспортное оборудование» КФ МГТУ им. Н.Э. Баумана. E-mail: k3kf@yandex.ru.

A.D. Ryzhkova, A.A. Shubin, N.M.Boriskina

ON THE STABILITY OF A SPECIALIZED COMPLEX WHEN WORKING IN RESTORATION AND REPAIR OF CONTACT NETWORK

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

In this work the possibility of using the device as a software and hardware system stabilization and rollover protection developed in LabVIEW was analyzed. The efficiency of application this device was justified. The application of this device with the complex for setting up of supports of contact network on the basis of railcar AKC-01 was suggested.

Keywords: *devices, systems, stability, stabilization, LabVIEW*

REFERENCES

[1]. Shubin A.A., Ryzhkova A.D. Multifunctional complex for restoration and repair of contact network on the railway // High Tech in the instrument and mechanical engineering and the development of innovative activities in high school: All-Russian Scientific and Technical Conference, 25-27 November 2014 T. 3. - M.: Publishing MSTU. N.E Bauman, 2014

[2]. Universal drilling machine UBM-85 URL: http://sdm-zavod.ru/products/manipulyatory-dlya-bureniya-i-pogruzheniya-vintovyh-svay/ubm-85 (date accessed 03.03.2015)

[3]. Travis D., D. Kring LabVIEW for everyone - M.: DMK Press, 2011

[4]. Electronic - Library System "Publisher Lan»: http://e.lanbook.com/books/element.php?pl1_id=1094 Blum P. LabVIEW: Programming style, "DMK Press", 2010 - p. 400

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.

Boriskina Nadegda Mihailovma, Ph. D., Assoc. Professor of Kaluga Branch of Bauman Moscow State Technical University. E-mail: k3kf@yandex.ru.

П.В. Витчук, А.В. Федоров

ОСНОВНЫЕ МЕТОДЫ УВЕЛИЧЕНИЯ ТЯГОВОЙ СПОСОБНОСТИ КАНАТОВЕДУЩЕГО ШКИВА ЛИФТА

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

В большинстве приводов пассажирских и в некоторых приводах грузовых подъемников применяются канатоведущие шкивы. Канатоведущий шкив служит для передачи тягового усилия с лебедки на канаты лифта.

Работоспособность канатоведущего шкива характеризуется его тяговой способностью, которая зависит от приведенного коэффициента трения между рабочими поверхностями тягового каната и ручьями канатоведущего шкива и от угла обхвата его тяговым канатом. Приведенный коэффициент трения зависит от профиля ручья канатоведущего шкива и степени их износа, а так же от материалов из которых изготовлены тяговые канаты и канатоведущий шкив. Немаловажно наличие достаточной силы трения между тяговыми канатами и поверхностью ручья, поэтому канатоведущие шкивы применяются только совместно с противовесами, закрепленными на втором конце канатов.

Величина тяговой способности канатоведущего шкива аналитически оценивается коэффициентом тяговой способности k_{TC}. Во избежание скольжения каната по шкиву необходимо соблюдение условия формулы (неравенства) Эйлера, которая имеет вид:

$$\frac{T_1}{T_2} C \le e^{f\alpha} = k_{TC}, \qquad (1)$$

где T_1 и T_2, кН – большая и меньшая сила натяжения тяговых канатов соответственно; f – приведенное значение коэффициента трения между тяговым канатом и поверхностью ручья; C – коэффициент динамичности.

Анализ зависимости (1) указывает на следующие методы увеличения коэффициента тяговой способности:

1. Использование уравновешивающих элементов (цепей, канатов, кабелей) для увеличения статического натяжения движущихся вниз тяговых канатов.
2. Увеличение угла обхвата тяговым канатом канатоведущего шкива.
3. Увеличение приведенного значения коэффициента трения между тяговым канатом и поверхностью ручья.

При использовании первого способа существенного прироста тяговой способности не наблюдается, так как исключается из разницы между большей и меньшей силами натяжения тяговых канатов только составляющая от неуравновешенной массы тяговых канатов и подвесных кабелей.

Второй способ реализуется несколькими конструктивными решениями, такими как: установка отклоняющего блока, увеличение диаметра канатоведущего шкива (в случае использования отводного блока, когда $\alpha < 180°$), применение схемы привода с двойным обхватом (рис. 1).

Установка отклоняющего блока в лифтах практически не применяется, так как в этом случае уменьшается расстояние между осями кабины и противовеса и для устранения этого недостатка требуется применение дополнительного отклоняющего блока. Это приводит к повышенному износу тяговых канатов, так как увеличивается число их перегибов.

Увеличение диаметра канатоведущего шкива приводит к увеличению коэффициенту тяговой способности, а так же к значительному увеличению срока службы тяговых канатов ввиду увеличения радиуса огибания и уменьшения величины контактного давления между рабочими поверхностями тяговых канатов и ручьев канатоведущего шкива. Однако такое решение является неэффективным с экономической стороны, так как ведет к увеличению металлоемкости и габаритов лебедки, а также увеличению маховых моментов на валу редуктора, что ухудшает качество движения лифта и значительно увеличивает расход электроэнергии в переходных режимах.

Для увеличения тяговой способности может применяться схема с двойным обхватом. В этом случае канаты лифта проходят от кабины через тяговый шкив, вниз, огибая контршкив, обратно к тяговому шкиву и к противовесу. Такая схема привода является достаточно громоздкой, влечет за собой значительное увеличение износа тяговых канатов ввиду увеличения числа их перегибов, а также повышение шумовых показателей.

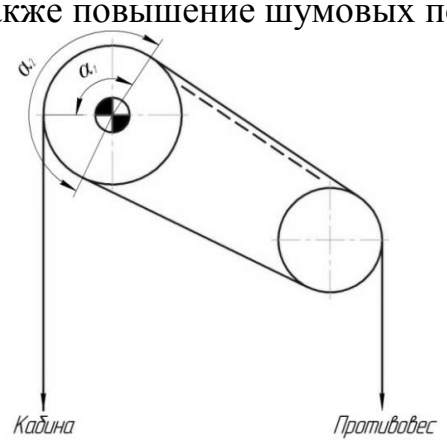


Рис. 1. Схема привода с двойным обхватом

Третий способ увеличения тяговой способности заключается в увеличение приведенного значения коэффициента трения между тяговым канатом и поверхностью ручья на основе выбора соответствующих геометрических параметров профиля поперечного профиля ручья канатоведущего шкива и/или применении материалов с высоким коэффициентом трения (например, упругая футеровка полимерными материалами).

Футеровка полимерными материалами позволяет добиться увеличения тяговой способности даже при использовании ручьев полукруглого профиля поперечного сечения и небольших габаритах канатоведущего шкива. Данный способ широко применяется в шахтных подъемниках. При этом могут использоваться дуб, прессмасса и полихлорвиниловый пластикат [2]. Статический коэффициент тяговой способности для этих материалов составляет от 1,3 до 1,5.

Канатоведущие шкивы, футерованные фрикционными материалами (полиуретан), были разработаны фирмами Koerpe("Кёппе" Германия) и Otis ("Отис" США) (рис. 2), а также рядом ученых, но не получили распространения в силу ряда причин [1].

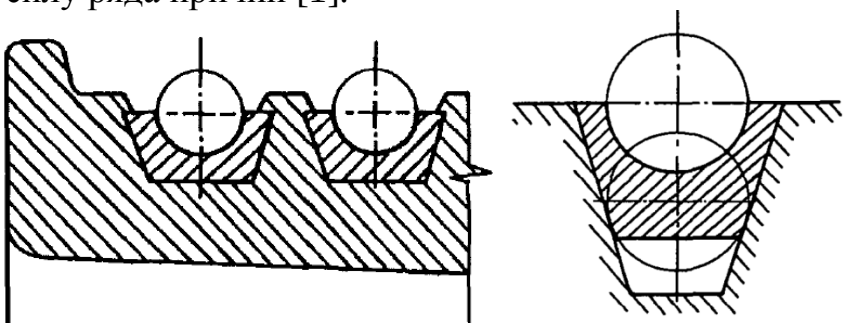


Рис. 2. Конструкции канатоведущих шкивов с полиуретановыми вкладышами: Koerpe (слева) Otis (справа)

Основными такими причинами являются необходимость значительного числа натурных испытаний для определения фактического значения тяговой способности, возможность выгорания полиуретанов при пожаре, необходимость пересмотра норм браковки тяговых канатов, а также необходимость применения методов неразрушающего контроля при оценке их технического состояния. Другой немаловажной причиной послужил тот факт, что на момент разработки указанных конструкций полиуретан имел высокую стоимость и его применимость была экономически нецелесообразна.

Можно заключить, что наиболее рациональным способом увеличения тяговой способности канатоведущих шкивов является их футеровка фрикционными материалами (полиуретаном). Внедрение подобной конструкции должно позволить: многократное использование канатоведущего шкива (при износе вкладыша его можно заменить на новый и использовать шкив дальше); значительно упростить и сократить сроки процедуры по восстановлению изношенных ручьев; уменьшить размеры канатоведущего шкива и, как следствие, привода при сохранении тяговой способности; повысить энергоэффективность лебедки; снизить уровень шума и вибраций лебедки.

Список литературы

[1]. Яновски Л. Проектирование механического оборудования лифтов. Третье издание:-М.: Монография. Издательство АСВ, 2005. – 336 с.

[2]. Федорова З. М., Лукин И.Ф, Нестеров А.П. Подъёмники. – Киев: Высшая школа, 1976 – 296 с.

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.

Федоров Александр Васильевич – студент КФ МГТУ им. Н.Э. Баумана. E-mail: fedorov@nxt.ru

УДК 621.8

В.И. Сероштан, Т.В. Гаах, А.С. Аракелян

ПОВРЕЖДЕНИЯ И НЕИСПРАВНОСТИ ЛИФТОВЫХ УСТАНОВОК В КАЛУЖСКОМ РЕГИОНЕ

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

В процессе эксплуатации лифтового парка в Калужском регионе под воздействием множества внешних факторов возникает достаточно большое количество инцидентов (повреждений, неисправностей и отказов) элементов и структурных единиц лифтов. Количество и серьезность инцидентов во многом зависит от отработанного срока службы до появления очередного инцидента. По этому признаку эксплуатируемые лифты можно представить тремя группами:

- лифты, эксплуатируемые сроком до 3-х лет;
- лифты, эксплуатируемые от 3-х до 20-25 лет;
- лифты, отработавшие нормативный срок службы.

К первой группе относятся “молодые” лифты. Их надежность в основном определяется качеством изготовления лифтовых деталей и узлов, сборки и монтажа лифта, а также качеством комплектующих изделий и управляющей аппаратуры. Из-за низкого качества поставляемых лифтовых установок часто отказывают пускатели, микровыключатели, датчики точной остановки, энкодеры, концевые выключатели, кнопки вызывные и приказные, реверс-отмена и т.п. Инциденты лифтовых установок по причине некачественного монтажа неквалифицированным персоналам также характерны для этой группы лифтов.

Надежность лифтов первой группы близка к нормируемой и поэтому инциденты эксплуатационного характера редки. Однако в лифтах заселяемых жилищных многоэтажных зданий наблюдается неблагоприятные инциденты, так как, в последнее время квартиры сдают новоселам без внутренней отделки. При этом имеет место большой объем отделочных, а часто и строительных работ, связанных с загрузкой, а зачастую и перегрузкой лифтов строительными материалами и строительным мусором. Строительная пыль, попадая на контакты, замки, ролики, забиваясь в отверстия, вызывает заклинивания в этих механизмах. Строительный мусор попадает в шахту лифта, засоряя ее и установленные в ней буфера и упоры. Особенно чувствительно все это сказывается на работоспособности импортных лифтов.

Проблемы, возникающие в процессе эксплуатации лифтов, срок службы которых от 3-х до 20-25 лет, не отработавших нормативный срок службы, в основном можно отнести к выработке ресурса того или иного элемента, что влечет за собой срабатывание аппаратов безопасности в следующих случаях:

- контроль слабины тяговых элементов вследствие неравномерной вытяжки канатов и ремней;

- контроль положения каната ограничителя скорости;

- контроль процесса внезапной посадки кабины на ловители в следствии износа башмаков (вкладышей);

- внезапное открывание или закрывание дверей кабины лифта по причине выхода из строя пускателей, реле, автоматических выключателей и т.п.;

- неисправности канатоведущего шкива (КВШ), сгорание обмотки статора электродвигателя главного привода, плат, выработка зубчатого венца редуктора привода или привода дверей, подгорание контактов, обрывы или разрушения проводки, короткое замыкание.

Такие проблемы встречаются наиболее часто. Однако более трудоемки в устранении неисправности, связанные с осадкой фундамента здания и хулиганские вандальные действия. Первое может вызвать смещение крепления направляющих кабины, что в свою очередь изменяет величину зазора между башмаком и направляющей, зажимая или разбалтывая кабину, а при неравномерной загрузке кабины может произойти ее внезапная посадка на ловители.

Своевременное техническое обслуживание позволяет выявлять и вовремя устранять признаки усадки фундамента. Предсказать вандальные действия же не представляется возможным. Однако установка видеонаблюдения способствует обнаружению нарушителя и уменьшению вероятность повторных инцидентов. Таким образом, своевременное техническое обслуживание квалифицированным персоналом и установка видеонаблюдения может быть гарантией исправной работы лифтового оборудования, эксплуатируемого в нормативные сроки.

Лифты, третьей группы, время эксплуатации которых превышает 25 лет (нормированный) требуют капитального ремонта, модернизации или замены, в соответствии с требованиями правил и стандартов [1-3].

Причины возникновения неисправностей лифтового оборудования, в основном, такие же, что и в лифтах второй группы, а именно: усталость материала, износ трущихся поверхностей, выработка ресурса и старения структурных единиц лифтов. Имеют место также частичное или полное отсутствие необходимых средств безопасности в соответствии с требованиями нормативных документов. Большая группа лифтов не оборудована подвижным полом или другими грузовзвешивающими или блокировочными устройствами, предотвращающими пуск перегруженной кабины в режиме нормальной работы. Часто отсутствует аварийное освещение кабины лифта, перебои электроснабжения, несоответствие дверей шахты лифта требованиям пожарной безопасности. В системе управления лифта отсутствует режим «Пожарная опасность».

Кроме этого, у лифтов третьей группы часто отсутствуют: ограждение КВШ, предотвращающее травмирование обслуживающего персонала; устройство, предотвращающее спадение тяговых канатов с ручьев КВШ; уст-

ройство, для предотвращения падения персонала в шахту лифта (так называемый - фартук).

Тип ловителей не соответствует требованиям соответствующего стандарта [2], при срабатывании ловителей не обеспечивается ограничение замедления движения кабины с целью снижения опасности получения травм.

Различные сочетания перечисленных проблем, возникающих в процессе длительной эксплуатации лифтов и появляющихся инцидентов, обуславливают необходимость проведения капитального ремонта или модернизации лифтов, отработавших нормативный срок службы.

Модернизация устаревших лифтов может включать в себя замену следующих устройств и узлов:

- электродвигателя главного привода лифта с установкой частотного преобразователя;
- редуктора, тормоза, муфт и других элементов трансмиссии главного привода;
- купе кабины, дверей шахты и кабины, приводы дверей;
- станции управления, проводки и заземляющего контура;
- тяговых канатов, подвески кабины и противовеса, КВШ;
- необходимые средства безопасности.

Все это требуют серьезных вложений финансовых средств, соизмеримых с затратами на приобретение нового лифта. Поэтому решение о проведении модернизации лифта, отработавшего нормативный срок или приобретение нового необходимо принимать на основании технико-экономического обоснования с учетом фактического технического состояния конкретного лифта, установленного по результатам диагностирования его узлов и систем [4,5].

Список литературы

[1]. ПБ 10-558-03 "Правила устройства и безопасной эксплуатации лифтов".

[2]. ГОСТ Р 53780-2010 «Общие требования безопасности к устройству и установке».

[3]. ГОСТ 22011-95 "Лифты пассажирские и грузовые".

[4]. Волков Д.П., Чутчиков П.И., Прокофьев А.К. Диагностирование узлов и подсистем лифтов. Москва, Стройиздат, 1981, 132 с.

[5]. 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. Москва, Машиностроение, 1992, 192 с.

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.

Аракелян Армен Степанович – инженер ОАО “Калугалифтремстрой”. E-mail: Armen393@yandex.ru

П.В. Витчук, К.С. Рыжов

ПОВЫШЕНИЕ ЭФФЕКТИВНОСТИ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ РАБОЧЕГО ПРОСТРАНСТВА ЛИФТАМИ

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

Повышение эффективности использования рабочего пространства лифтами несомненно является актуальной задачей для современного машиностроения, особенно для лифтов, смонтированных в торгово-офисных центрах, где нерациональное использование торговых площадей приводит к снижению прибыли.

Рассмотрим основные потери рабочего пространства, возникающие при применении лифтов. В настоящее время подавляющее большинство из находящихся в эксплуатации лифтов состоит из кабины и противовеса, соединенных тяговыми канатами, а также привода и аппаратуры управления.

Такие лифты включают в свою конструкцию машинное помещение, располагающееся над шахтой и служащее для размещения привода и аппаратуры управления. Пространство, отведенное под машинное помещение, сопоставимо с пространством, занимаемым двумя-тремя офисами. Кроме того, отсутствие машинного помещения в верхней части шахты оказалось бы весьма желательным и для архитекторов, которые могли бы более свободно решать архитектонику верхней части и кровли здания.

Пространство, занимаемое противовесом, служащим для уравновешивания веса кабины и части веса груза (обычно от 40 до 50%), также является весьма значительным и в разрезе может составлять до 30% площади горизонтального сечения (плана) шахты.

Таким образом, исключение из конструкции лифта машинного помещения и противовеса, несомненно, позволит улучшить эффективность использования пространства, занимаемого лифтом, и будет сопровождаться существенным экономическим эффектом.

Первая задача (исключение машинного помещения) в настоящее время успешно решается многими производителями лифтов и уже нашла свое отражение в нормативной документации (поправка А2 к Европейскому стандарту EN81-1(2)). В качестве наиболее интересных конструктивных решений для лифтов без машинного помещения можно привести лебедки (приводы): KONE EcoDisc (лифт MonoSpace, Финляндия), Thyssen Aufzuge (лифт Evolution, Германия), Lodige TECHNO Faselift (Германия), ZIEHL-ABGG ZETASYN (Германия), WITTUR серии WSG и WSP (Германия), KLEEMANN APOLLO (Германия), SODIMAS SODICIEL 2800 (Франция), Shindler EuroLift (Швейцария), OTIS Gen 2 (США), а также отечественные приводы компаний «СИТИ-ЛИФТ» и «КУБ-ЛИФТ» [1].

Для решения второй задачи финской компанией KONE, которая в настоящий момент является мировым лидером в области инноваций в лифтостроении, представлена концептуальная модель лифта MaxiSpace [2]. Данная концепция подразумевает применение многократного полиспаста и безредукторной лебедки KONE EcoDisc (рис. 1), что должно позволить исключить из конструкции лифта противовес и увеличить вплоть до 50% вместимость кабины при такой же занимаемой ею площадью в плане шахты или на 33 % уменьшить занимаемую ей площадь при сохранении прежней вместимости.

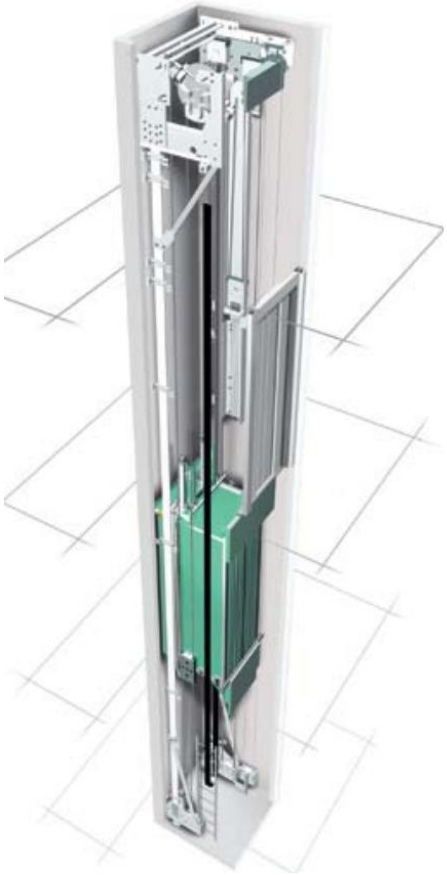


Рис. 1. Концептуальная модель KONE MaxiSpace [2]

Проведенный нами анализ концептуальной модели лифта MaxiSpace позволил предположить возможность наличия следующих проблем при ее реализации: вероятность перекручивания и спадания каната вследствие его девиации при применении схемы «плоский полиспаст»; последовательное снижение КПД и перекос подвески (рис. 2), вызванные постепенным нарастанием сил трения при переходе каната с блока на блок; низкая долговечность каната, обусловленная наличием многократных перегибов.

На основании анализа литературных данных о теории работы полиспастной системы [3] для решения указанным проблем были предложены следующие решения: футеровка блоков полиспаста неметаллическими уп-

ругими материалами с низким коэффициентом трения; установка блоков полиспаста на опоры качения; разнесение блоков из схемы «плоский полиспаст» в осевом направлении на величину, сопоставимую с величиной девиации; применение канатов с низким значением жесткости, а также устойчивых к снижению долговечности при изгибе. Перспективным видится также применение канатов, футерованных неметаллическими материалами или изготовленных из них. Например, компанией Shindler в 2004 году был представлен канат из арамидных волокон (рис.3 [4]). Данный канат обладает следующими преимуществами: малая удельная масса (примерно в четыре раза меньше по сравнению с традиционными стальными канатами при одинаковой прочности); отсутствие необходимости в смазывании; низкая жесткость; высокая износостойкость. Кроме того, арамидный канат содержит в своей структуре электропроводящие углеродные волокна, то есть может быть снабжен функцией самодиагностики, что важно в условиях наличия значительного числа перегибов на блоках полиспаста.

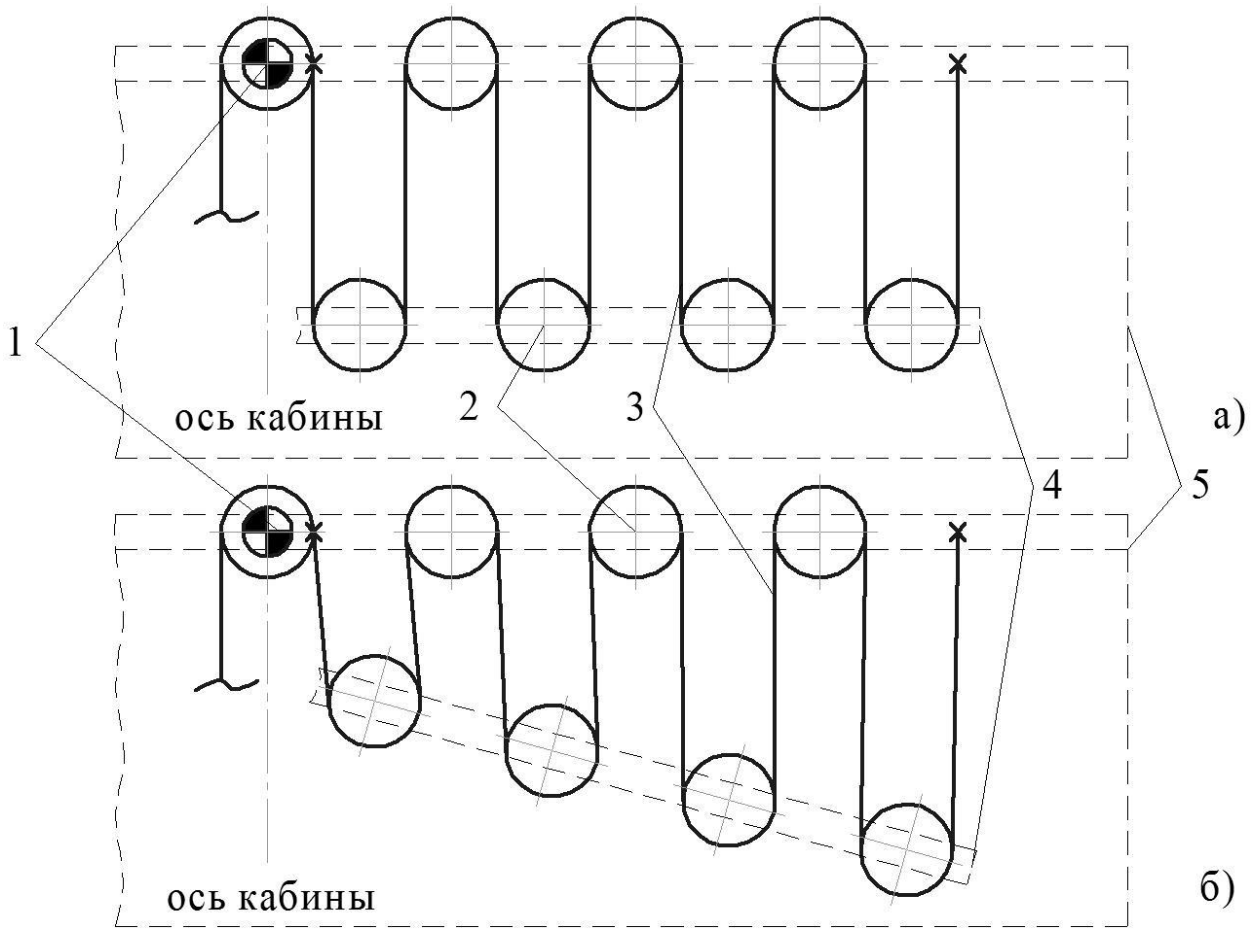


Рис. 2. Состояние подвески при использовании схемы «плоский полиспаст»: а) в нерабочем состоянии; б) при включении лебедки; 1 – канатоведущий шкив лебедки; 2 – блоки полиспаста; 3 – канат; 4 – подвеска кабины; 5 – границы шахты (показаны условно)

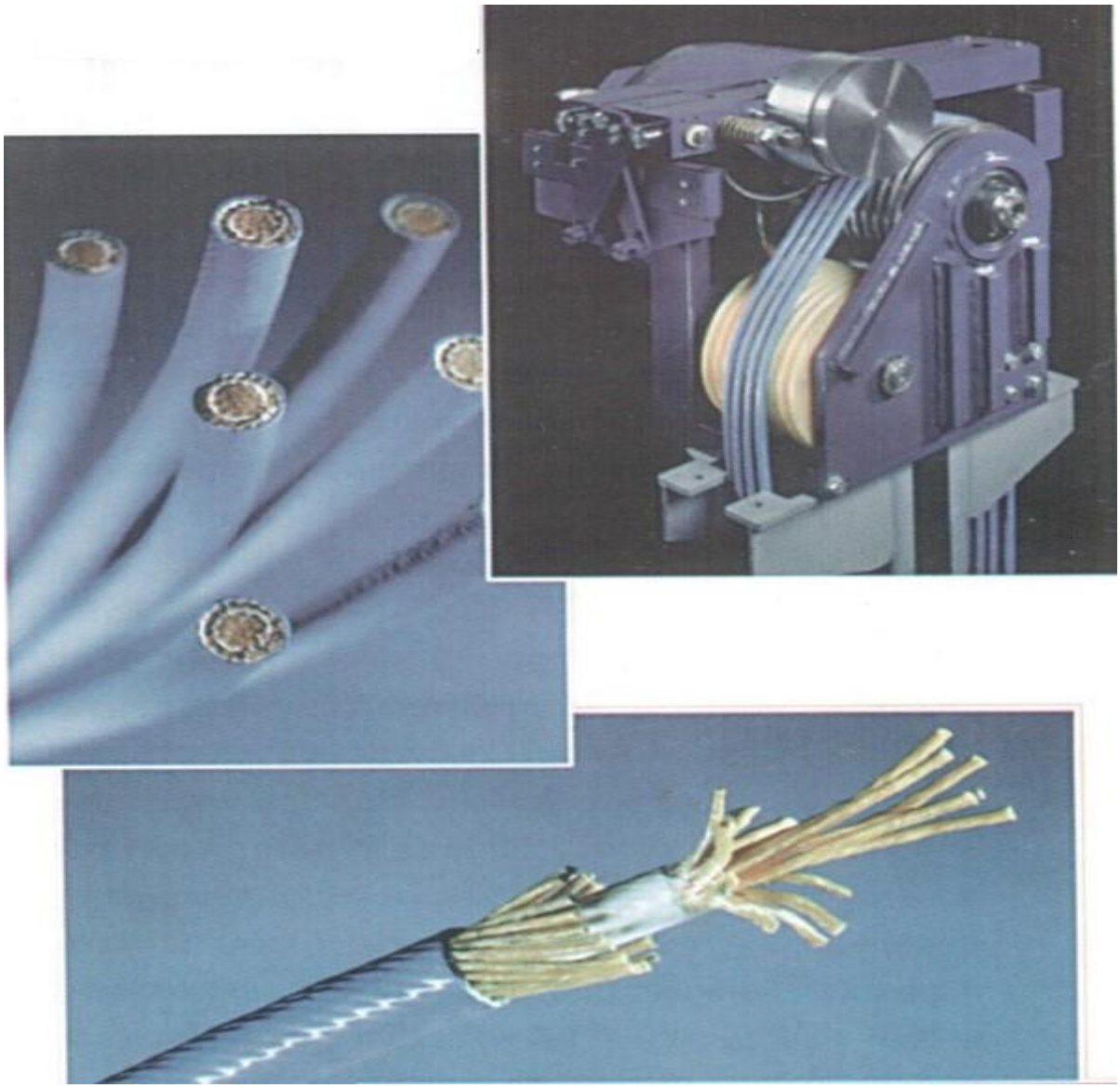


Рис. 3. Канат Schindler из арамидных волокон [4]

Для исследования свойств полиспаста при его различных конструктивных исполнениях на кафедре К3-КФ «Детали машин и ПТО» была разработана и изготовлена модель полиспаста, аналогичного используемому в лифте KONE MaxiSpace в масштабе 1:5 (рис. 4). Кратность модели полиспаста переменная и зависит от крепления концов каната, максимальная кратность 1:10. Данная модель включает в свою конструкцию ролики, футерованные полиуретаном и установленные на подшипниках качения. Ролики расположены на шпильках и фиксируются гайками, что позволяет изменять положение роликов относительно друг друга в осевом направлении. Для измерения усилий в подвеске служит скоба и электронные весы.

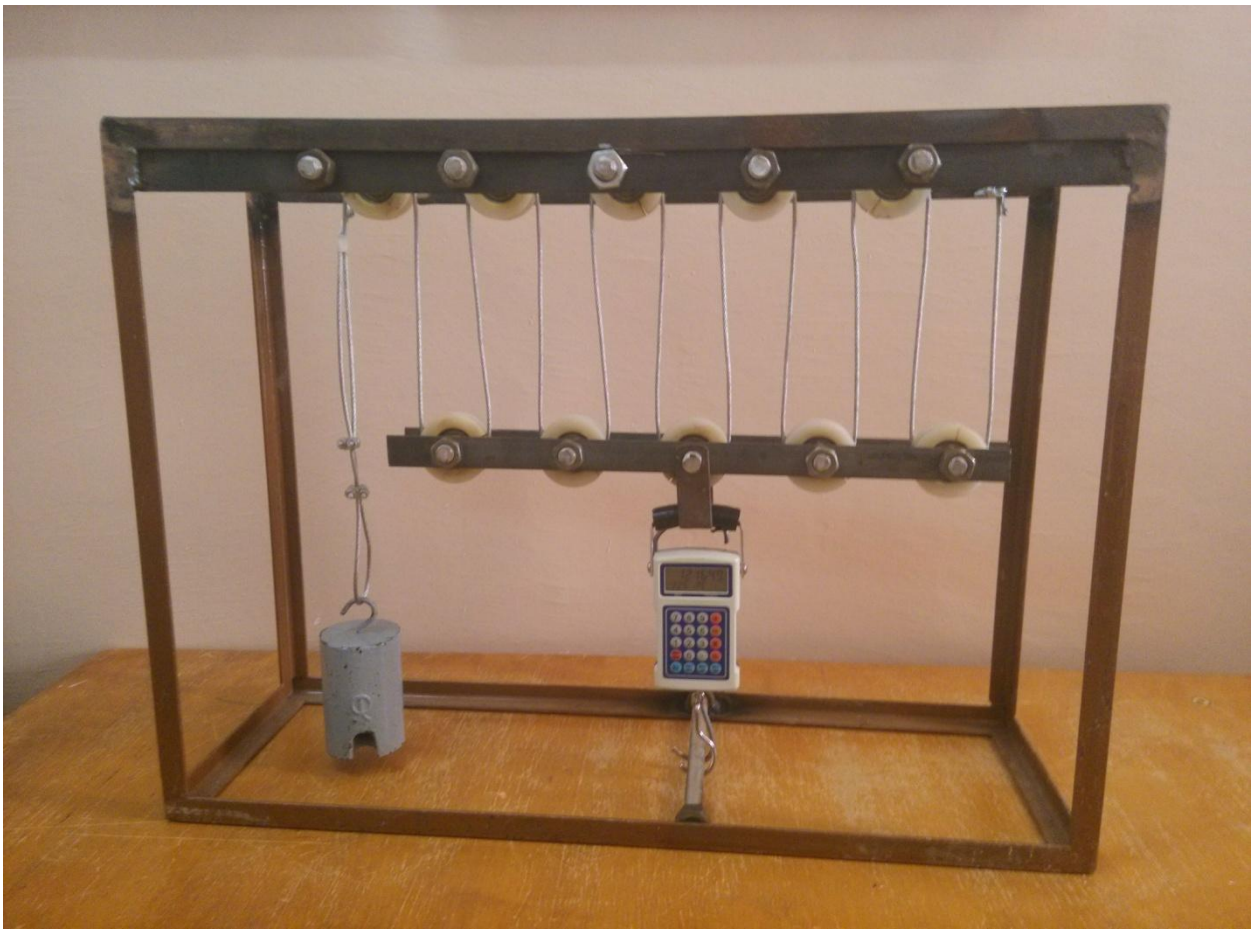


Рис. 4. Модель полиспаста

Данная модель позволит исследовать свойства полиспаста при различных типах каната, в том числе – неметаллических, положениях блоков и кратности полиспаста.

Литература

[1]. Основные направления развития конструкций лифтов без машинного помещения / Лифт-Пресс [электронный ресурс]. – Режим доступа http://www.lift-press.ru/view_post.php?id=474. (дата обращения 19.03.2015);

[2]. Официальный сайт компании KONE [электронный ресурс]. – Режим доступа http://www.kone.com. (дата обращения 19.03.2015);

[3]. Александров М.П. Грузоподъемные машины: Учебник для вузов. – М.: Изд-во МГТУ им. Н.Э. Баумана - Высшая школа, 2000.-552с.

[4]. Гейл Д. Поездка в Эбикон: арамидные канаты и Евролифт // Лифт. - 2004. - №2. – С. 12-15;

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.

Рыжов Кирилл Сергеевич – студент КФ МГТУ им. Н.Э. Баумана. E-mail: ryjov.kirill@yandex.ru.

Раевский В.А., Федоров А.В.

РАЗРАБОТКА КОНСТРУКЦИИ МУФТЫ ДИСКОВОЙ ПОЛУЖЕСТКОЙ ДЛЯ ВЕНТИЛЯТОРОВ ГОРЯЧЕГО ДУТЬЯ

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

Вентиляторы горячего дутья предназначены для перемещения горячего воздуха, который был нагрет в воздухоподогревателе, к топке стационарных паровых котлов, а также для рециркуляции нагретой воздушной массы в конструкции воздушного тракта котла. Разрешается применять вентиляторы в технологических установках разнообразных отраслей для транспортировки чистого воздуха и неагрессивных газов. Перемещаемый воздух на входе вентиляторов не должен превышать температуру 400 градусов Цельсия.

Электрический двигатель, которым комплектуется дутьевой вентилятор, выбирают таким образом, чтобы он обеспечивал нормальную работу в тех условиях, где он будет установлен. Используют асинхронные двигатели единой серии, односкоростные или двухскоростные асинхронные электродвигатели серии типа ДАЗО.

Обычно вал вентилятора горячего дутья соединяется непосредственно с валом электродвигателя посредством муфты упругой втулочно-пальцевой. Однако опыт использования этих муфт показывает, что их срок службы упругих элементов составляет от полугода до года в зависимости от загазованности окружающей среды и уровня вибраций. Кроме того, при периодической поверке электродвигателей обслуживающий персонал высказывает пожелания, чтобы электродвигатели не перемещались со стационарного положения. Таким образом, возникает необходимость для разработки конструкции надежной муфты, позволяющей произвести разъединение вала вентилятора горячего дутья и вала электродвигателя без перемещения электродвигателя.

В качестве прототипа было решено использовать муфту дисковую полужесткую с промежуточной втулкой ГОСТ 26455-97. Соотношение диаметров валов 110/90 мм позволило уменьшить габариты муфты, расположив промежуточную втулку поверх полумуфты с посадочным диаметром вала 90 мм (рис.1).

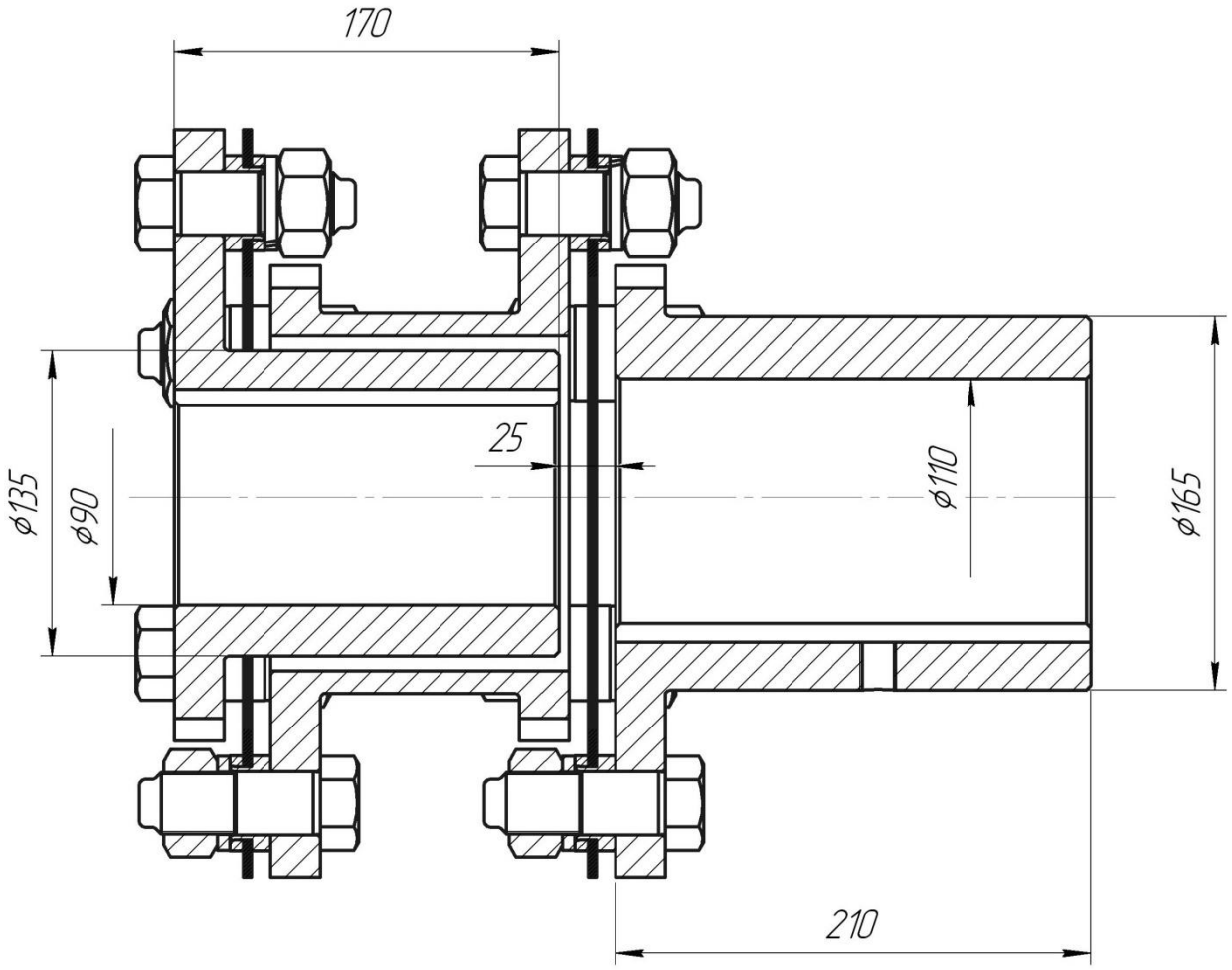


Рис. 1 – Муфта дисковая полужесткая.

Полностью переработан пакет пластин. Для выполнения условия разъединения валов без перемещения электродвигателя было решено разработать пакет пластин с крепежными втулками как неразборный элемент конструкции муфты с ограничением его ширины (т.е. ограничением числа и ширины пластин). Кроме того, подобная конструкция пакета пластин облегчает работу персонала при его замене. Количество, конструктивные размеры и материал пластины пакета, а также размеры втулок и размеры стандартного крепежа определялись путем конечно-элементного анализа в нелинейной геометрической постановке.

Список литературы

[1]. ГОСТ 26455-97 – Муфты дисковые полужесткие. Параметры, конструкция и размеры. Москва, Изд-во стандартов, 2001.

Раевский Владимир Алексеевич – канд. техн. наук, доцент КФ МГТУ им. Н.Э. Баумана. E-mail: var-77@mail.ru.

Федоров Александр Васильевич – студент КФ МГТУ им. Н.Э. Баумана. E-mail: fedorov@nxt.ru

УДК 621.867

Н.М. Борискина, О.О. Барышникова, С.А. Луцкая,
В.А. Подгорбунский[1]

РАЗРАБОТКА ПРОГРАММНОГО КОМПЛЕКСА РАСЧЕТА РЕДУКТОРА

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

В современном машиностроении в передаточных механизмах широко используются планетарные редукторы. При относительно небольших габаритах планетарные редукторы обеспечивают большое передаточное отношение – в этом их основное преимущество по сравнению с другими передаточными механизмами.

Задача проектирования редуктора сложная и трудоемкая. Ее можно разделить на несколько этапов:

- выбор схемы редуктора;
- определение числа зубьев;
- определение модуля зубчатых колес,

Выбор схемы редуктора, как правило, не вызывает проблем. Для наиболее часто встречающихся типов редукторов известен рекомендованный интервал передаточных отношений, и решить задачу выбора схемы планетарного редуктора не представляется сложным. Однако следует помнить, что это решение не всегда однозначно. Для одного и того же значения передаточного отношения может быть рекомендована не одна типовая схема редуктора. Результат первого этапа проектирования – одна или несколько схем редукторов.

Второй этап – определение числа зубьев колес редуктора. Следует помнить, что существует множество решений этой задачи. Выбранное решение должно удовлетворять ряду условий:

- обеспечение заданного передаточного отношения с требуемой точностью;
- отсутствие подреза ножки зуба;
- отсутствие заклинивания во внутреннем зацеплении;
- входной и выходной вал должны быть расположены на одной оси;
- при размещении нескольких блоков сателлитов должны быть выполнены условия соседства и сборки.

Заключительное условие – минимальные габариты.

Существующие методики позволяют достаточно быстро подобрать решение, опираясь на имеющийся опыт, однако, не дают уверенности, что выбранное решение обеспечивает минимальные габариты. При подборе

чисел зубьев с помощью известных методик решение, обеспечивающее минимальные габариты, может быть пропущено.

Третий этап – расчет модуля зубчатых колес и определение прочностных характеристик редуктора. Предполагается выбор материала из базы данных, встроенной в комплекс, для определения допустимых напряжений на выносливость: контактную и изгибную. Зная допустимые напряжения, передаваемую мощность, число оборотов входного вала, моменты на валах редуктора, можно определить недостающие геометрические параметры – модуль и ширину зубчатых колес. Оценка полученного решения проводится с помощью дополнительной проверки напряжений [1].

Разрабатываемый программный комплекс позволит определить при проектировании основные параметры редуктора, учитывающие кинематику, прочность и долговечность конструкции.

В алгоритм заложены четыре основных типа планетарных редукторов: однорядный со смешанным зацеплением, двухрядный со смешанным зацеплением, двухрядный с двумя внешними зацеплениями и двухрядный с двумя внутренними зацеплениями. На первом этапе автоматически по заданному передаточному отношению подбирается схема редуктора. Если передаточное отношение имеет такое значение, что можно рассматривать две или три схемы, то второй этап расчетов выполняется для нескольких схем и по результатам подбора чисел зубьев принимается решение о выборе той или иной схемы из условия минимальных габаритов.

На втором этапе осуществляется подбор чисел зубьев методом перебора значений. Числа зубьев подбираются такими, что должны обеспечивать уже перечисленные условия. Общее число найденных решений в разрабатываемом комплексе дается для сведения. Из всех возможных решений будет выбрано единственное, обеспечивающее условие минимальных габаритов.

Для случая точного обеспечения передаточного отношения на этом расчетная часть второго этапа завершается. Однако в ряде случаев значение передаточного отношения может быть изменено (например, передаточное отношение имеет дробное значение). В разрабатываемом программном комплексе предполагается ввести дополнительный модуль. В нем будет проводиться решение задачи о подборе чисел зубьев колес для ряда значений передаточного отношения (интервал и шаг изменений передаточного отношения задаются дополнительно). Все найденные решения представляются для оценки и окончательного выбора.

По желанию можно провести визуальный анализ результатов решения задачи на втором этапе. Модуль визуального анализа и контроля включает в себя два блока:

1. на кинематической схеме редуктора для контроля и оценки особенностей кинематики строятся треугольники скоростей (по методу проф. Смирнова);

2. создание трехмерной модели, которую можно поворачивать в пространстве или приводить в движение.

Результаты расчетов с помощью разрабатываемого программного комплекса позволят выполнить полный расчет конструкции в целом (подбор подшипников, диаметры валов и т.д.).

Разрабатываемый программный комплекс позволяет на современном уровне решать сложную задачу проектирования планетарного редуктора и получать решение с учетом многих требований, предъявляемых к редуктору, с высокой точностью.

ЛИТЕРАТУРА

[1]. Дунаев П.Ф., Леликов О.П. Конструирование узлов и деталей машин.-М.: AKADEMA, 2003.-495 с.

Борискина Надежда Михайловна – канд. техн. наук, доцент кафедры «Детали машин и подъемно-транспортное оборудование» КФ МГТУ им. Н.Э. Баумана. E-mail: k3kf@yandex.ru.

Барышникова Ольга Олеговна – канд. техн. наук, доцент КФ МГТУ им. Н.Э. Баумана. E-mail: k3kf@yandex.ru.

Подгорбунский Василий Александрович – студент КФ МГТУ им. Н.Э. Баумана. E-mail: podgorbunsky@yandex.ru.

Луцкая С.А. – студент КФ МГТУ им. Н.Э. Баумана. E-mail: k3kf@yandex.ru.

УДК 621.86.075

В.А. Подгорбунский, В.А. Ермоленко

РАСЧЕТ БОЛТОВОГО СОЕДИНЕНИЯ ПОДВЕСНОЙ ОПОРЫ БЛОКА

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

Наиболее надежной является опора обводного блока, установленная на верхней плоскости балки грузоподъемного устройства. Но иногда опору обводного блока подвешивают на нижней плоскости балки грузоподъемного устройства с помощью группового болтового соединения. В этом случае требования к точности расчёта являются более высокими. Предлагается методика и пример расчёта болтового соединения опоры обводного блока с нижней плоскостью балки грузоподъемного крана (рис. 1).

Сила затяжки болта:

$$V = \left(\frac{Q}{z} + \frac{M}{z} \frac{F_{cm}}{W_{cm}} \right) K_{cm};$$

$W_{cm} = \frac{ba^2}{6}$ - момент сопротивления стыка; $F_{cm} = ba$ - площадь стыка; z - число болтов; $k_{cm} = 1,4$ - коэффициент запаса затяжки ($k_{cm} = 1,25$- при постоянной нагрузке; $k_{cm} = 4$ – при переменной нагрузке). Для прямоугольного стыка и числа болтов $z = 2$ имеем:

$$V = \frac{ba}{ba^2} \cdot 6 = \frac{6}{a};$$

где a - расстояние между болтами.

Опрокидывающий момент, действующий на подвесную опору:

$$M = Qh;$$

где Q - усилие в канате; h - высота опоры от поверхности стыка до оси.

$$V = \left(Q + \frac{M \cdot 6}{a} \right) 0,7.$$

Примем $a = h$, тогда

$$V = \left(Q + \frac{Qh \cdot 6}{h} \right) 0,7;$$

или

$$V = 7Q \cdot 0,7 \approx 4,9Q.$$

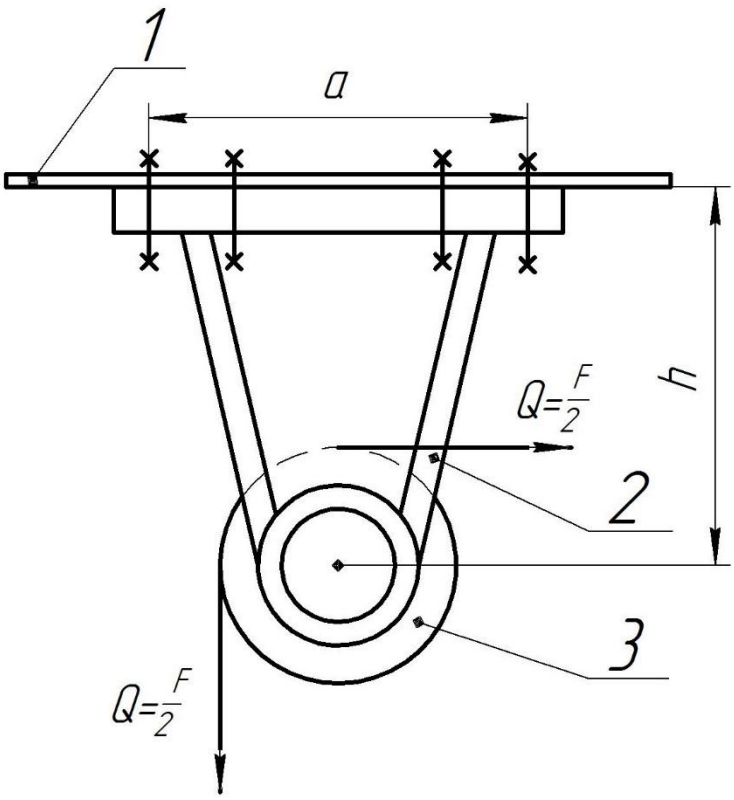


Рис. 1. Обводной блок.
1 – нижняя плоскость балки грузоподъемного крана; 2 – опора обводного блока; 3 – обводной блок; F - усилие в канате; $Q = \frac{F}{2}$ - усилие в канате, деленное на две опоры блока.

Условие прочности болта:

$$P_1 = V + \chi Q \le [P];$$

или

$$P_1 = 4{,}9Q + 0{,}25Q = 5{,}15Q; \qquad (1)$$

где P_1 - расчетная осевая нагрузка на болт; $\chi = 0{,}25$ - коэффициент податливости стыка для стальных деталей без прокладок; $[P]$ - допускаемая осевая нагрузка на болт при неконтролируемой затяжке.

Для лебедки грузоподъемность $F = 3{,}2mc$. Коэффициентом возможной перегрузки $k = 1{,}15$. Получим усилие в канате $F_0 = kF$. Усилие на одну из двух опор блока:

$$Q = \frac{F_0}{2} = \frac{kF}{2} = \frac{1{,}15 \cdot 3{,}2}{2} \approx 1{,}84 \cdot 10^4 H;$$

$$P_1 = 5{,}15Q = \frac{5{,}15}{2} F_П = \frac{5{,}15}{2} 1{,}84 \cdot 10^4 = 4{,}74 \cdot 10^4 H.$$

Выбираем по 2 болта М24, сталь 40Х:

$$[P] = 6,7 \cdot 10^4 H > 6,695 \cdot 10^4 H.$$

Получим:

$$P_1 = 4,74 \cdot 10^4 < [\mathrm{P}] = 6,7 \cdot 10^4;$$

То есть коэффициент избыточной прочности стали $k = \frac{[\mathrm{P}]}{P_1} = \frac{6,7 \cdot 10^4}{4,74 \cdot 10^4} = 1,4.$ Можно поставить 4 болта диаметром М20 (40Х) $P = 41 \cdot 10^4 H.$ Тогда коэффициент избыточной прочности составит:

$$k = \frac{2[\mathrm{P}]}{P_1} = \frac{2 \cdot 4,1 \cdot 10^4}{4,74 \cdot 10^4} \approx 1,7.$$

Таким образом, приравнивая расстояние между болтами к высоте оси блока, получена универсальная и простая зависимость осевой нагрузки на болт от усилия в канате.

В соответствии с [1] и [2], п. 11.12 условие прочности стыка:

$$Q = \frac{R \cdot \gamma_p \cdot \mu \cdot n}{\gamma_n}; \tag{1}$$

где Q - максимальное усилие вдоль поверхности трения, стянутой болтами; R - допускаемое усилие на болт; $\gamma_p = 1,2...1,5$ - коэффициент надежности при динамической нагрузке для деталей без обработки при разности диаметров отверстия и болта от 1 до 6мм. Примем $\gamma_p = 1,6$, как наихудший случай; $\mu = 0,25$ - коэффициент трения на обезжиренной поверхности стыка без обработки (стальными щетками, пламенем, без нанесения фрикционного порошка и клея); $\gamma_n = 0,8$ - коэффициент прочности стыка при числе болтов $n < 5$. Диапазон $\mu = 0,58...0,25$.

Из формулы (1) получим:

$$Q \le R \cdot \frac{1,6 \cdot 0,25 \cdot 2}{0,8} = R. \tag{2}$$

Учтем, что на болты в нашем случае действует усилие Q, направленное вниз, в сторону раскрытия стыка (рис.), тогда из уравнения (2) получим:

$$Q \le R - Q;$$

откуда

$$Q \le \frac{R}{2}.$$

Получим:

$$1,84 \cdot 10^4 < \frac{6,7 \cdot 10^4}{2} = 1,8.$$

Это значение коэффициента избыточной прочности $k = 1{,}8$ существенно больше, чем ранее полученное значение $k = 1{,}4$ и представляется нам излишне оптимистичным, поэтому принимаем ране полученное значение.

Исходя из вышесказанного, можем сделать следующие выводы:

1. Для предварительных расчетов на нераскрытие стыка болтового соединения подвесной опоры блока (при равных расстояниях между болтами с высотой блока и двух опорах с двумя болтами на каждом конце основного блока) получено, что усилие на болт в 2,5 раза больше усилия в канате, огибающем блок под углом 90^0. Это обстоятельство повышает эффективность инженерной деятельности.

2. Расчет болтового соединения на несдвигание стыка по строительным нагрузкам с учетом силы в канате, направленной в сторону раскрытия стыка, дает на 30% большее значение коэффициента избыточной прочности. Это представляется нам излишне оптимистичным результатом. Считаем более достоверным расчет на нераскрытие стыка.

ЛИТЕРАТУРА

[1]. Металлические конструкции. В 3 т. Т. 1. Элементы конструкций. Под ред. В.В. Горева – М.: Высш. шк., 2001. – 551с.

[2]. Строительные нормы и правила. Стальные конструкции. СНиП 2-23-81 с изменениями 1987 и 1990г., www.stroyinf.ru

Подгорбунский Василий Александрович – студент КФ МГТУ им. Н.Э. Баумана. E-mail: vasily-podgorbunsky@yandex.ru.

Ермоленко Владимир Алексеевич – канд. техн. наук, доцент КФ МГТУ им. Н.Э. Баумана. E-mail: tvermolenko@rambler.ru.

УДК 621.86

А.С. Болтнева, В.А. Ермоленко, А.В. Артемьев

РАСЧЕТ МЕХАНИЗМА ПЕРЕДВИЖЕНИЯ ТЕЛЕЖКИ С КАНАТНОЙ ТЯГОЙ ДЛЯ СТЕНДА БРОСКОВЫХ ИСПЫТАНИЙ ГРУЗОВ

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

Представлена схема и методика расчета механизма передвижения с канатной тягой для стенда бросковых испытаний грузов с целью проверки их удароустойчивости. Механизм передвижения содержит редуктор, барабан, двигатель, муфты, канат, обводной блок, тележку с ходовыми колесами и боковыми роликами.

Ключевые слова: *механизм передвижения, канатная тяга, расчет механизма, сопротивление качения.*

Некоторые пакетированные грузы, контейнеры и аппараты испытывают путем сбрасывания с заданной высоты. Для этого проектируют стенд в виде мачты с подъемной площадкой. Стенд передвигают к месту падения груза по горизонтальным рельсам посредством механизма передвижения. Исследования проводятся в рамках участия в проекте “Луна-Глоб”, разрабатываемого ФГУП “НПО им. С.А. Лавочкина”.

При анализе вариантов механизмов передвижения нами отклонен неприводной вариант (“ самокат”) и механизм передвижения с приводными ходовыми колесами (“велосипед”). Первый требует больших мускульных усилий, а второй – приводы минимум на два колеса (из 4-х … 8-ми), на которых установлен стенд. Но и в том случае возможно буксирование колес (при попадании на рельс влаги и масел) и перекос рамы стенда. Поэтому нами выбрана более надежная схема механизма передвижения, а именно – с канатной тягой.

Цель работы – определить рациональные параметры механизма передвижения с канатной тягой на примере стенда m = 8000 кг.

Вертикальная сила, действующая на тележку

$$F_V = m \cdot g = 8000 \cdot 9{,}81 = 78500 \text{ Н},$$

g = 9,81 м/с^2 – ускорение свободного падения.

Сила сопротивления трения качения, приведенная к ободу колеса

$$F_T = F_V \frac{2\mu + fd}{D} k_p = 78500 \cdot \frac{2 \cdot 0{,}4 \cdot 10^{-3} + 0{,}015 \cdot 0{,}04}{0{,}18} \cdot 1{,}1 = 576 \text{ Н},$$

где μ = 0,4 мм $=0,4\cdot10^{-3}$ м – плечо трения качения колеса по рельсу [1], табл 3…6 (принимаем большее из значений для колеса $D=200мм$); f =0,015 – коэффициент трения подшипников шариковых или роликовых; d = 0.04 м – внутренний диаметр подшипника; k_p = 1,1 – коэффициент реборды при наличии боковых направляющих роликов.

Сила сопротивления движению тележки от уклона пути

$$F_y=\alpha\cdot F_V=0,003\cdot78500=236 \text{ Н},$$

где α = 0,003 или $\alpha=0,003\cdot180°/\pi=1,72°$ - уклон пути для козловых кранов.

Плечо горизонтальной силы при наезде на препятствие высотой h = 0,2 мм

$$l=\sqrt{R^2-(R-h)^2}=\sqrt{0,09^2-(0,09-0,2\cdot10^{-3})^2}=6\cdot10^{-3}м.$$

Сила сопротивления движению тележки при наезде на препятствие одним из колес

$$F_П=\frac{F_V\cdot l}{iR}=\frac{78500\cdot6\cdot10^{-3}}{4\cdot0,09}=1310 \text{ Н},$$

где i = 4 – число колес (если i = 8 – считаем наезд для двух колес).

Статическая сила натяжения каната или суммарная сила сопротивления движению тележки

$$F_\Sigma=\frac{F_T+F_Y+F_П}{\eta}=\frac{576+236+1310}{0,98}=2170 \text{ Н},$$

где η = 0,98 – коэффициент полезного действия обводного блока.

Расчетное разрывное усилие для выбора каната из каталога

$$S=z\cdot F_\Sigma=4\cdot2170=8680 \text{ Н},$$

где z = 4 – коэффициент запаса прочности для тяговых канатов [1], п.13.4. Выбираем канат ГОСТ 2688, маркировочная группа –1770 МПа, разрывное усилие каната в целом [F] = 21000 Н, $d_к$ = 6,2 мм.

Коэффициент запаса прочности каната (без учета пуска или стопорения двигателя)

$$n=\frac{[F]}{F_\Sigma}=\frac{21000}{2170}=9,7.$$

Мощность электродвигателя

$$P=\frac{F_\Sigma\cdot V}{\eta_м}=\frac{2170\cdot0,1}{0,7}=310Вт,$$

где V = 0,1 м/с – скорость передвижения; $\eta_м$ = 0,7 – КПД механизма с червячным редуктором (рис.1).

Выбираем двигатель с повышенным скольжением:

4АС71А6У3, мощность – 400 Вт, частота вращения n_e = 920 об/мин, отношение максимального момента к номинальному $k = T_{\max} / T_{ном} = 2{,}1$.

Диаметр барабана, по средней линии каната

$$D \geq h_1 \cdot d_k = 12{,}5 \cdot 6{,}2 = 77{,}5 \approx 100 мм,$$

где h_1 = 12,5 – коэффициент выбора диаметра барабана по ИСО 4301/1 при общей продолжительности эксплуатации - 200 час; режим нагружения L4, коэффициент распределения нагрузок - 1,0 [2].

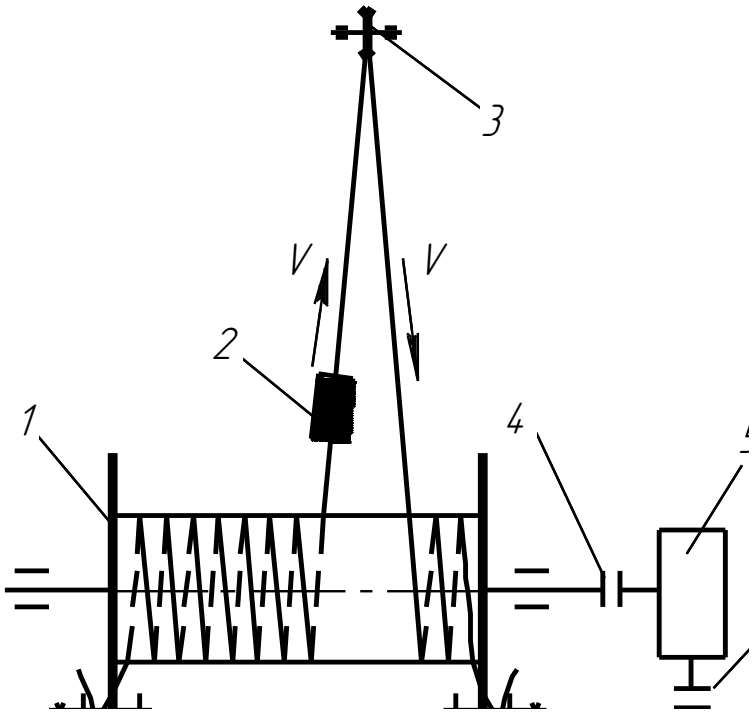


Рис.1. Механизм передвижения с канатной тягой

1- Барабан с правой нарезкой; 2 – тележка; 3 – обводной блок; 4 – муфта зубчатая; 5 – редуктор Ч-125; 6 – муфта МУВП; 7 – двигатель АС71А6

Угловая скорость барабана

$$\omega_Б = \frac{2V}{D} = \frac{2 \cdot 0{,}1}{0{,}1} = 2 \quad рад/с.$$

Угловая скорость двигателя

$$\omega_e = \frac{\pi \cdot n_e}{30} = \frac{3{,}14 \cdot 920}{30} = 96{,}2 \quad рад/с.$$

Номинальный момент двигателя

$$T_{ном} = \frac{P}{\omega_e} = \frac{400}{96{,}2} = 4{,}15 \quad Н.$$

Передаточное число редуктора

$$U = \frac{\omega_e}{\omega_Б} = \frac{96,2}{2} = 48$$

.

Крутящий момент на выходном валу редуктора и барабане

$$T_Б = \frac{S \cdot D}{2} = \frac{8680 \cdot 0,1}{2} = 4340$$ Нм.

Выбираем редуктор Ч – 125. Передаточное число U = 50; номинальный момент $T_{ном}$ = 7170 Нм; масса 86 кг; КПД = 0,73 [3], с.30.

Наибольшее натяжение каната при пуске и стопорении тележки

$$F_{\max} = \frac{k \cdot T_{ном} \cdot U \cdot \eta_м}{D} = \frac{2,1 \cdot 4,15 \cdot 50 \cdot 0,7}{0,1} = 3050$$ Н,

т.е. канат имеет запас прочности при пуске двигателя и стопорении тележки:

$$n' = [F] / F_{\max} = 21000 / 3050 \approx 7.$$

Значение n=7 превышает рекомендуемое значение n=4, но уменьшать диаметр каната менее d_k =6,2 мм не следует, т.к. канат расположен внизу и имеет проволоки диаметром 0,3 мм, которые могут быть повреждены.

Вал двигателя 4АС71 цилиндрический, диаметр 19j6, длина 40 мм, масса 15 кг, момент инерции ротора J_e =0,0017 кг·м^2.

Входной вал редуктора Ч-125 с расположением под выходным валом, вариант 1 [3], с.30, конический, диаметр 32 мм, длина посадочной части 58 мм, общая длина 80 мм.

Муфта упругая втулочно-пальцевая: Т = 125 Нм. Момент инерции $J_м$ =0,00625 кг·м^2.

Условие пуска двигателя

$$t_n = \frac{\omega_e \cdot \left[1,2 \cdot \left(J_e + J_м\right) + \frac{m_T \cdot D^2}{4 \cdot U^2 \cdot \eta}\right]}{T_S - \frac{F_\Sigma \cdot D_{x.k.}}{U \cdot \eta}} \qquad (1)$$

Пусковой момент двигателя

$$T_S = 2 \cdot T_H = 2 \cdot 4,15 = 8,3 Нм$$.

Получим время пуска по формуле (1):

$$t_n = \frac{96,2 \cdot \left[1,2 \cdot \left(0,0017 + 0,0025\right) + \frac{8000 \cdot 0,18^2}{4 \cdot 50^2 \cdot 0,7}\right]}{8,3 - \frac{2170 \cdot 0,18}{2 \cdot 50 \cdot 0,7}} = 1,65$$ с.

Время пуска приемлемо до 3с – для двигателей с повышенным скольжением.

Дополнительное (динамическое) усилие в канате при пуске

$$a = F_{\Sigma} \cdot \frac{V}{t_n} = 2170 \cdot \frac{0,1}{1,65} = 132$$ Н.

Очевидно, что это динамическое усилие пренебрежимо мало по сравнению со статическим усилием $F_{\Sigma} = 2170H$, т.е. пуск происходит плавно – по усилию и быстро – по времени.

Выводы:

1) Среди возможных схем механизмов передвижения стенда, механизм с канатной тягой исключает буксование колес по рельсу и не приводит к перекосу рамы стенда с последующим увеличением сопротивления передвижению.

2) Для стенда массой 8 т определены рациональные параметры механизма передвижения с канатной тягой. Т.к. механизм расположен на фундаменте – применен “тяжелый”, но бесшумный червячный редуктор и барабан с односторонней навивкой сверху и снизу, без нарезки. Усилие в канате не превышает допускаемую консольную нагрузку на выходном валу редуктора.

3) Предложенная методика расчета может быть использована для механизмов передвижения с канатной тягой в приложении к стендам с любой массой.

Список литературы

[1]. Краны грузоподъемные. Механизм передвижения. Метод расчета. РТМ 24.090.28-77. М.: Изд-во НИИИНФОРМАТЯЖмаш, 1978.

[2]. Краны грузоподъемные. Классификация. ИСО 4301/1-86. http://pks-ekb.ru-content/files/ISO4301-1(дата обращения 15.03.2015)

[3]. Подъемо-транспортные машины: Атлас конструкций / Под ред. М.П. Александрова и Д. Н. Решетова. – Машиностроение, 1987.

Болтнева Анна Сергеевна – студент КФ МГТУ им. Н.Э. Баумана. E-mail: annrash1994@yandex.ru.

Ермоленко Владимир Алексеевич – канд. техн. наук, доцент КФ МГТУ им. Н.Э. Баумана. E-mail: tvermolenko@rambler.ru.

Артемьев Артем Валентиноваич – студент КФ МГТУ им. Н.Э. Баумана. E-mail: arav@laspace.ru.

С.Л. Заярный, А.А. Фомин

РАСЧЕТ СОЕДИНЕНИЯ ДЕТАЛЕЙ МЕТОДОМ КОНЕЧНЫХ РАЗНОСТЕЙ С УЧЕТОМ ПОДАТЛИВОСТИ ЭКВИВАЛЕНТНОГО КОНТАКТНОГО СЛОЯ

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

При расчете соединения деталей аналогом конструкционных и технологических связей между ними может быть эквивалентный контактный слой (ЭКС) [1]. При этом ЭКС рассматривается как третье тело, обладающее особыми механическими свойствами. Свойства ЭКС в зависимости от сдвигающего усилия могут быть описаны в форме линейно-упругой и нелинейно-упругой модели (рис. 1).

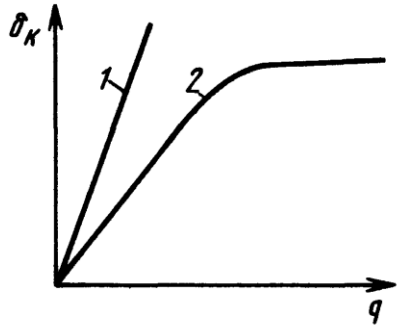


Рис. 1 Модели эквивалентного контактного слоя в координатах нагрузка - перемещение: 1 – линейно-упругая модель; 2 – нелинейно-упругая модель.

Характеристикой ЭКС является его податливость, которая может быть определена экспериментальными или расчетными методами [2].

Рассмотрим случай передачи нагрузки соединение деталей на примере соединением с натягом (СН) [3]. Преобладающей нагрузкой при этом является крутящий момент. Характер распределения крутящего момента и перемещений в СН может быть установлен путем составления баланса элемента, выделенного двумя поперечными сечениями на расстоянии от края посадочной поверхности (рис. 2). В этом случае угловые перемещения в СН с учетом ЭКС определяются: круговыми перемещениями втулки и вала: круговыми перемещениями в пределах ЭКС.

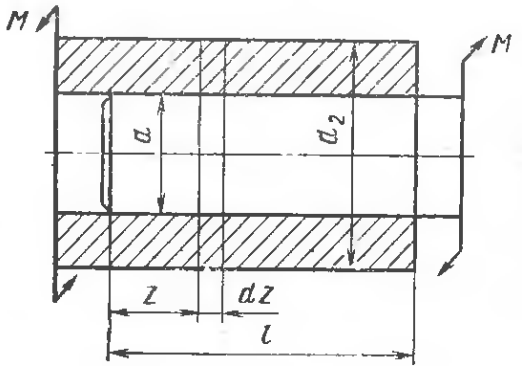


Рис. 2 Схема нагружения СН крутящим моментом

При нагружении СН крутящими моментами с разных сторон в сечение с координатой z втулкой передается момент M_z , а валом – момент $M - M_z$. Приращение момента на длине dz составит dM_z.

Из условия равновесия:

$$dM_z = \pm \pi d^2 \tau_z dz / 2, \qquad (1)$$

где τ_z - касательные контактные напряжения в стыке; d - средний диаметр сопряженных поверхностей.

После составления баланса перемещений и совершения преобразований получаем дифференциальное уравнение второго порядка:

$$\frac{d^2 M_z}{dz^2} - \frac{K^2}{d^2} M_z + \frac{K_1{}^2}{d^2} = 0. \qquad (2)$$

В общем случае уравнение (2), является дифференциальным уравнением с переменными коэффициентами:

$$K^2(z) = \frac{32}{(1 - \frac{d^4}{d_2^4(z)})[(1 - \frac{d^2}{d_2^2(z)}) + 1 + 4\frac{1}{d} K_\tau(z) G]}, \qquad (3)$$

$$K_1^2(z) = \frac{32 d d_2^2(z) M}{d(d_2^2(z) - d^2) + d d_2^2(z) + 4 d_2^2(z) K_\tau(z) G}. \qquad (4)$$

В случае $K(z), K_1(z) \to \mathrm{var}$ получение аналитического решения уравнения (2) сопряжено с существенными математическими трудностями. В частном случае, при $K(z), K_1(z) \to const$, решением уравнения (2) является

$$M_z = C_1 e^{K \cdot z/d} + C_2 e^{-K \cdot z/d} + \frac{K_1^2}{K^2}. \qquad (5)$$

Произвольные постоянные C_1 и C_2 определяют из граничных условий при $z = 0$, $M_z = M$ и при $z = 1$, $M_z = 0$. Тогда

$$C_1 = \frac{M + (e^{Kl/d} - 1)K_1^2 / K^2}{1 - e^{2Kl/d}} \ , \qquad (6)$$

$$C_2 = \frac{M + (e^{-Kl/d} - 1)K_1^2 / K^2}{1 - e^{-2Kl/d}} \ . \qquad (7)$$

Воспользуемся для решения уравнения (2) при $K(z), K_1(z) \to const$ методом конечных разностей (МКР).

Разобьем соединение интервалами Δ (рис. 3)

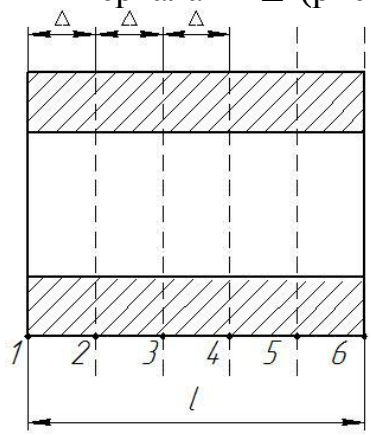


Рис. 3 Схема соединения при расчете МКР.

Для нахождения моментов в точках 2,3,4,5 строим приближенные формулы для производных от функций, выраженные через узловые ординаты этих функций (конечно разностные операторы производных) [4]. Эти операторы подставляются в дифференциальное уравнение, и требуется, чтобы дифференциальное уравнение выполнялось в каждом узле сетки (прием коллокаций). Граничные условия данной краевой задачи также формулируются с помощью конечно-разностных операторов. В целом это приводит в алгебраической системе уравнений относительно узловых ординат разыскиваемых функций, решение которых и дает числовое поле определяемых в теле функций. Для линейных дифференциальных уравнений конечно-разностные уравнения образуют систему линейных алгебраических уравнений. Использование компьютера позволяет составить и решить системы уравнений высокого порядка, поэтому МКР представляет мощное средство решения прикладных задач как теории упругости, так и других задач математической физики.

Схема построение операторов для производных от одномерной функции представлена на рис.4.

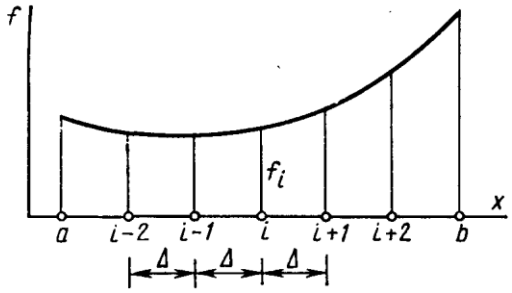


Рис. 4 Построение операторов для производных от одномерной функции $f = f(x)$

Вторая производная в точке i (рис. 4) имет вид:

$$f_i'' = \frac{f_{i-1} - 2f_i + f_{i+1}}{\Delta^2} \ . \qquad (8)$$

Последовательно накладывая центр оператора второй производной на точки 2,3,4,5, получаем систему уравнений:

$$\begin{aligned}
M_1 - 2M_2 + M_3 &= (\frac{K^2}{d^2}M_2 - \frac{K_1^2}{d^2})\Delta^2 \\
M_2 - 2M_3 + M_4 &= (\frac{K^2}{d^2}M_3 - \frac{K_1^2}{d^2})\Delta^2 \\
M_3 - 2M_4 + M_5 &= (\frac{K^2}{d^2}M_4 - \frac{K_1^2}{d^2})\Delta^2 \\
M_4 - 2M_5 + M_6 &= (\frac{K^2}{d^2}M_5 - \frac{K_1^2}{d^2})\Delta^2 \quad ,
\end{aligned} \qquad (9)$$

где $M_1, M_2, M_3, M_4, M_5, M_6$ – моменты в соответствующих точках.

Применив граничные условия, получаем:

$$\begin{aligned}
M - 2M_2 + M_3 &= (\frac{K^2}{d^2}M_2 - \frac{K_1^2}{d^2})\Delta^2 \\
M_2 - 2M_3 + M_4 &= (\frac{K^2}{d^2}M_3 - \frac{K_1^2}{d^2})\Delta^2 \\
M_3 - 2M_4 + M_5 &= (\frac{K^2}{d^2}M_4 - \frac{K_1^2}{d^2})\Delta^2 \\
M_4 - 2M_5 &= (\frac{K^2}{d^2}M_5 - \frac{K_1^2}{d^2})\Delta^2
\end{aligned} \qquad (10)$$

Подставим численные значения:

$l = 120 мм;\ d = 100 мм;\ d_2 = 140 мм;\ M = 30 кН \cdot м;\ G = 0.8 \cdot 10^5 МПа;$

$K_\tau = 0.2 \cdot 10^{-3} мм / МПа.$

Решая систему уравнений (10), получаем:

$M_2 = 24.65 кН \cdot м$; $M_3 = 22.19 кН \cdot м$; $M_4 = 19.73 кН \cdot м$; $M_5 = 14.41 кН \cdot м$.

Решая уравнение (2) аналитическим методом, получаем:

$M_2 = 24.57 кН \cdot м$; $M_3 = 22.23 кН \cdot м$; $M_4 = 19.94 кН \cdot м$; $M_5 = 14.76 кН \cdot м$.

На рис. 5 сопоставлены результаты аналитического (5) и численного решений поставленной задачи при $K(z), K_1(z) \to const$.

Рис. 5 Распределение крутящих моментов

Хорошая сходимость результатов (рис. 5) позволяют надеяться на эффективность использования МКР для расчета соединения деталей с учетом податливости эквивалентного контактного слоя и в общем случае, при условии $K(z), K_1(z) \to \mathrm{var}$.

Список литературы

[1]. Иосилевич Г.Б. Детали машин: Учебник для студентов машиностроит. Спец. вузов. – М.: Машиностроение, 1988. – 368 с.

[2]. Левина З. М., Решетов Д.Н. Контактная жесткость машин. М. Машиностроение,1971. - 264 с.

[3]. Гречищев Е.С., А. А. Ильяшенко Соединения с натягом: Расчеты, проектирование, изготовление - М.: Машиностроение, 1981. – 247 с.

[4]. Александров А.В., Потапов В.Д. Основы теории упругости и пластичности: Учеб. Для стр. спец. вузов. - М: Высш. шк, 1990 – 400 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.

Фомин Александр Андреевич – студент КФ МГТУ им. Н.Э. Баумана. E-mail: hyperkrat@yandex.ru.

УДК 621.86

В.А. Ермоленко, И.О. Лесовский, М.В. Потапов, Д.И. Матвеев

РАСЧЕТ ТОРМОЗНОГО УСТРОЙСТВА ПОДЪЁМНОЙ ПЛАТФОРМЫ

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

При сбрасывании с высоты объектов: пакетированных грузов или аппаратов их оболочки или содержимое могут быть повреждены в результате удара о грунт.

Подъемная платформа (рис. 1) имеет горизонтальную площадку 1, удерживаемую от опрокидывания двумя швеллерами 2. Каждый швеллер взаимодействует с двумя левыми роликами 3 и правыми роликами 4.

Тормозное устройство имеет две передачи «зубчатое колесо – рейка» 6. Вал зубчатого колеса (на схеме условно повернут) установлен в корпусе с подшипниками 7. На противоположном конце вала установлен дисковый тормоз 8.

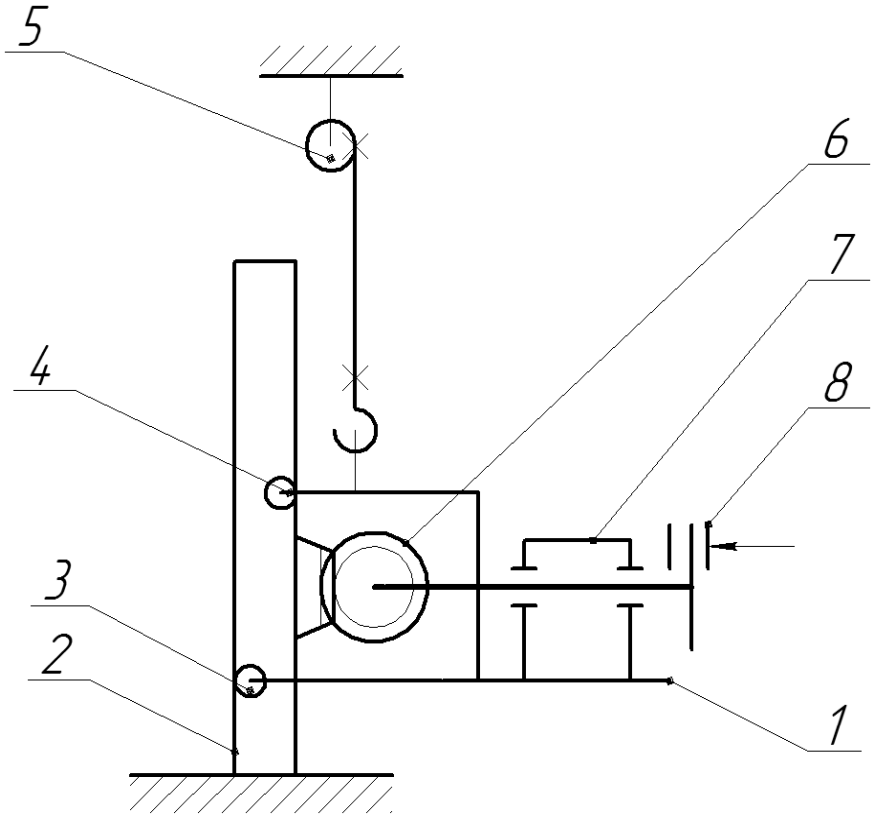


Рис. 1. Схема подъемной платформы

Исследование проводится в рамках участия в проекте «Луна-Глоб», разрабатываемого ФГУП «НПО им. С.А. Лавочкина».

Одна из двух наиболее нагруженных половин тормозного устройства нагружена массой 2000 кг.

Вертикальная сила

$$F = mg = 2000 \cdot 9{,}81 = 19620\ H\ .$$

Напряжение в точках закругления зуба рейки и шестерни (*a, a'*) составит:

$$\sigma = \frac{Fh}{W} - \frac{Ftg\alpha'}{A}, \qquad (1)$$

где $\alpha' = 30°$ – угол давления на вершину зуба [1], с. 308.

По результатам наблюдений трещины у основания зуба возникают в зоне растянутого материала – в точках *a*; *a'*, где сила F растягивает, а сила $Ftg\alpha$ сжимает материал. Поэтому в формуле (1) взят знак «минус».

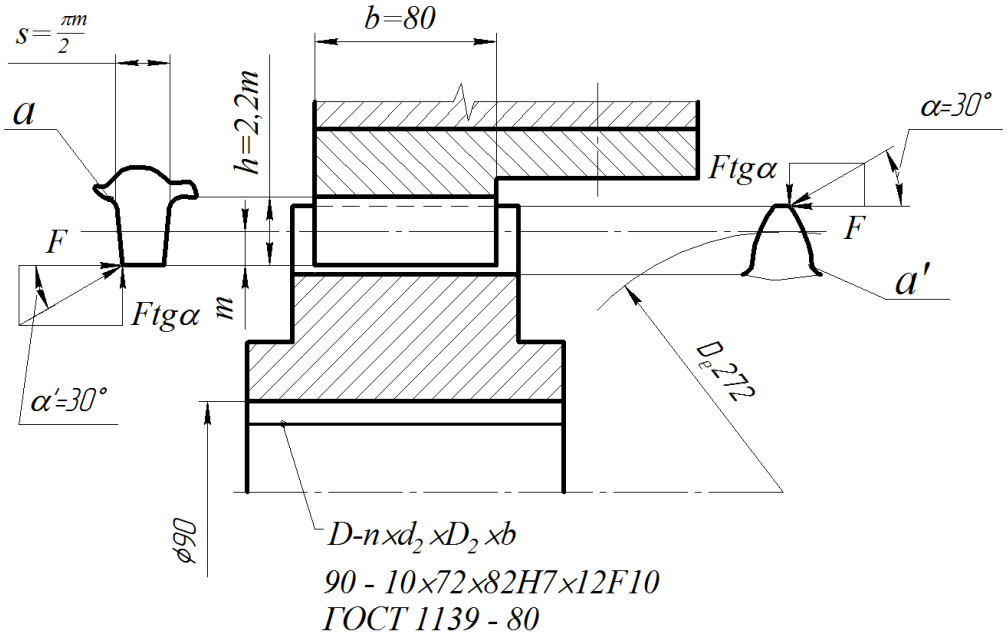


Рис. 2. Рейка и шестерня

Момент сопротивления поперечного сечения зуба у его основания

$$W = \frac{bS^2}{6} = \frac{0{,}09 \cdot 0{,}0251^2}{6} = 9{,}45 \cdot 10^{-6}\ м^3,$$

где b=0,09 *м* – ширина зуба рейки.

Толщина зуба рейки

$$S = \frac{t}{2} = \frac{\pi m}{2} = \frac{3{,}14 \cdot 0{,}016}{2} = 0{,}0251\ м,$$

где t – шаг рейки и шестерни; $m = 16\ мм = 0{,}016\ м$ – модуль рейки и шестерни. $h = 2{,}2m = 2{,}2 \cdot 0{,}016 = 0{,}0352\ м$ – высота зуба.

Площадь поперечного сечения зуба у его основания

$$A = bS = 0{,}09 \cdot 0{,}0251 = 2{,}26 \cdot 10^{-3}\ м^2.$$

По формуле (1) получим:

$$\sigma = \frac{19620 \cdot 0,0352}{9,45 \cdot 10^{-6}} - \frac{19620 \cdot 0,577}{2,26 \cdot 10^{-3}} = (73,1 - 5) \cdot 10^6 = 68,1 \cdot 10^6 \ Па.$$

Принимаем сталь 40Х, улучшение. Твердость рейки 235…262НВ – поверхность и сердцевина, предел текучести $\sigma_T = 640 \cdot 10^6 Па$. Для шестерни – улучшение сердцевины: 269…302 *НВ*, $\sigma_T = 750 \cdot 10^6 Па$; а так же закалка ТВЧ зуба до 45…50 *HRC*. [2], с. 60.

Коэффициент запаса прочности зуба рейки (шириной $b = 0,09$ *м*) относительно предела текучести:

$$n = \frac{\sigma_T}{\sigma} = \frac{640 \cdot 10^6}{68,1 \cdot 10^6} = 9,4.$$

Журнал [3] приводит п. 5.8.3.1 Правил EN81 – 40/41: «шестерни и зубчатые рейки должны… сохранять запас прочности не менее 9 до критического износа в процессе эксплуатации … Величина критического износа должна быть указана в сопроводительной документации к подъемнику». По-видимому, столь высокий запас объясняется присутствием людей на подъемнике, участвующих в испытании.

Т. к. $n > 9$, прочность зуба достаточна.

Вал 1 тормозного устройства подъемной платформы (рис. 3.) установлен на двух опорах 2 со сферическими радиальными шариковыми подшипниками. На правой консоли вала на шлицах, установлен диск тормоза ТДЕ-2 с гидротолкателем ЕВ 250/60, диаметр диска $D_T = 560 мм$; тормозной момент $[T_T] = 5500$ *Нм* [6]. Опоры 2 закреплены на платформе 4 с помощью группового болтового соединения 5. Платформу поднимают с помощью тали. На левой консоли вала 1, на шлицах установлена зубчатая шестерня 6, зубья которой опираются на зубья рейки 7 в том случае, когда канат тали ослаблен.

Сила, изгибающая вал со стороны шестерни:

$$F_{\max} = K_\partial \cdot mg\sqrt{1 + (tg\alpha')^2} = 1,3 \cdot 2000 \cdot 9,81\sqrt{1 + (tg30°)^2} = 29450 \ Н,$$

где $K_\partial = 1,3$ – коэффициент динамичности при вибрациях платформы в результате работы на ней 3^{х} человек или при сползании платформы с последующим резким торможением, например, при попадании влаги и масел на тормозной диск, с последующим прокручиванием диска до чистой поверхности и резким торможением. $m = 2000$ *кг* – максимальная масса платформы с людьми и инструментом приходящаяся на одну из двух реек 7. (рис. 1.); $g = 9,81$ *м/с*^{2} – ускорение свободного падения; $\alpha' = 30°$ – угол, принимаемый в расчет при зацеплении вершин зубьев [5], с. 261.

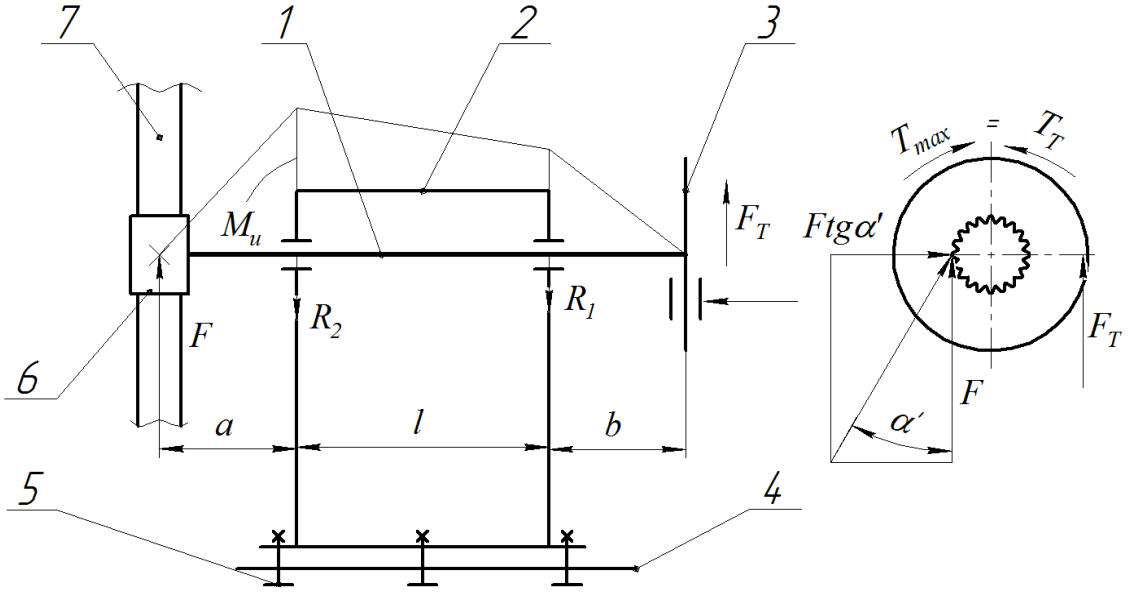


Рис. 3 Расчетная схема вала тормозного устройства. Вариант: с расположением колодок тормоза со стороны противоположной рейке.

Изгибающий момент вала под левой опорой (рис. 3.):

$$M_u = F_{\max} \cdot a = 29450 \cdot 0{,}15 = 4712 \text{ Нм},$$

где $a = 0{,}16 м$ — плечо левой консоли вала от центра зуба шестерни до центра подшипника.

Момент сопротивления изгиба вала

$$W_u = 0{,}1 \cdot d^3 = 0{,}1 \cdot 0{,}095^3 = 85{,}7 \cdot 10^{-6} м^3.$$

Действительное напряжение изгиба вала:

$$\sigma_u = \frac{M_u}{W_u} = \frac{4712}{85{,}7 \cdot 10^{-6}} = 55 \cdot 10^6 Па.$$

Крутящий момент на валу

$$T_{\max} = \frac{K_д \cdot mg \cdot D_e}{2} = \frac{1{,}3 \cdot 2000 \cdot 9{,}81 \cdot 0{,}272}{2} = 3470 \ Нм,$$

где $D_e = mz = 0{,}016 \cdot 17 = 0{,}272 м$ – диаметр делительной окружности шестерни.

Минимальный момент, на который следует отрегулировать тормоз

$$T_{тр} \geq k \cdot T_{\max} = 1{,}25 \cdot 3470 = 4340 \ Нм,$$

где $k = 1{,}25$ – минимальный коэффициент запаса торможения для приводов с двумя тормозами; [5]

Момент сопротивления кручения вала:

$$W_k = 0{,}2 d^3 = 0{,}2 \cdot 0{,}095^3 = 171 \cdot 10^{-6} м^3.$$

Действительное напряжение кручение вала:

$$\tau_k = \frac{T_{\max}}{W_k} = \frac{3470}{171 \cdot 10^{-6}} = 20{,}3 \cdot 10^6 Па.$$

Эквивалентное напряжение вала по диаметру канавки $d = 95$ *мм* между посадочным диаметром подшипника и заплечиком составит:

$$\sigma_э = \sqrt{\sigma_и^2 + 3\tau_K^2} = 10^6\sqrt{55 + 3 \cdot 20,3^2} = 65,3 \cdot 10^6 \, Па,$$

где $\sigma_T = 750 МПа$ – предел текучести стали 40Х, улучшение, 270…300НВ; с. 60.

Коэффициент запаса прочности (КЗП) вала относительно предела текучести

$$n = \frac{\sigma_T}{\sigma_Э} = \frac{750 \cdot 10^6}{65,3 \cdot 10^6} = 11,5 > 9,$$

т.е. вал достаточно прочен.

Выводы

1. Предложена методика расчёта на прочность зубьев рейки и шестерни, обеспечивающая коэффициенты запаса прочности, превышающие значение 9 – по изгибу и 1,7 - по контактной выносливости.

2. Предложена методика расчета на изгиб и кручение двухопорного вала, на противоположных консолях которого установлена шестерня и дисково-колодочный тормоз, колодки которого рекомендуется расположить со стороны рейки – для уменьшения изгибающего момента вала и нагрузок на подшипники.

ЛИТЕРАТУРА

[1]. Шелофаст В. В. Основы проектирования. М.: Издательство АПМ, 2005.

[2]. Хруничева Т. В. Детали машин. М.: ИД «Форум»: ИНФРА – М, 2009.

[3]. «Механизация строительства» №1(823) – 2013. [Электронный ресурс]. URL:http://ms.enjournal.net/

[4]. ИСО 4301/1-86 Краны грузоподъемные. Классификация. [Электронный ресурс]. URL:http://pks-ekb.ru/wp-content/files/ISO-4301-1-86.pdf

[5]. ПБ 10-382-00 «Правила устройства и безопасной эксплуатации грузоподъемных кранов» [Электронный ресурс]. URL: http://ohranatruda.ru/ot_biblio/normativ/data_normativ/8/8210/index.php

[6]. Тормоза. Елгавский машиностроительный завод. [Электронный ресурс]. URL:http://www.jmr.lv/ru/

Ермоленко Владимир Алексеевич – канд. техн. наук, доцент КФ МГТУ им. Н.Э. Баумана. E-mail: tvermolenko@rambler.ru.

Лесовский Игорь Олегович – студент КФ МГТУ им. Н.Э. Баумана. E-mail: igor@lesovsky.ru.

Потапов Михаил Витальевич – студент КФ МГТУ им. Н.Э. Баумана. E-mail: potap109109@yandex.ru.

Матвеев Дмитрий Игоревич – студент КФ МГТУ им. Н.Э. Баумана. E-mail: matveeff.dim@yandex.ru.

УДК 621.86.078: 531.539.3: 620.170.1

В.И. Сероштан, В.А. Ермоленко, В.А. Подгорбунский

ТЕХНИЧЕСКИЕ СРЕДСТВА ДИАГНОСТИРОВАНИЯ ГРУЗОПОДЪЕМНЫХ МАШИН (ГПМ) С ПРИМЕНЕНИЕМ МЕТОДА АКУСТИЧЕСКОЙ ЭМИССИИ

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

Существенным преимуществом применения метода акустической эмиссии (АЭ) в процессе технического диагностирования ГПМ является возможность с его помощью наблюдать и анализировать кинетику роста усталостных трещин и степень их опасности. Метод АЭ сравнительно не трудоёмок, не требует подготовки специальных площадок в местах диагностирования и позволяет обеспечить достаточную оперативность диагностирования металлоконструкций ГПМ [1].

Этот метод не нуждается в разрушении испытуемых объектов, эффективно расширяет область промышленной дефектоскопии и испытаний без разрушения и дополняет известные методы неразрушающего контроля (НК). Импульсному характеру АЭ соответствует широкий частотный спектр.

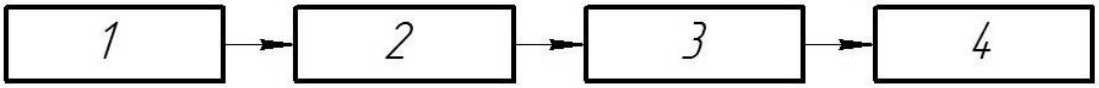


Рис. 1. Структура первичного прибора АЭ:
1 – датчик АЭ; 2 – усилитель; 3 – пиковый детектор;
4 – передатчик радиоканала.

В структурном отношении, в первом приближении технические средства диагностирования (ТСД) ГПМ можно представить в виде мобильных первичных приборов АЭ, в каждый из которых входят датчик АЭ из пьезокерамики ЦТС-19, широкополосный усилитель, тековый детектор и передатчик радиоканала (рис. 1). В дополнение к представленным составляющим ТСД АЭ в их составе необходимы анализаторы, компараторы, акселерометры, индикаторы, счетчики и другие структурные, функциональные и измерительные приборы [2].

В практике использования АЭ нашли применение широкополосные и резонансные датчики. Широкополосный датчик является высокочувствительным пьезометрическим преобразователем с рабочим диапазоном от 100 кГц до 1 МГц и внутренним электронным предусилителем с коэффи-

циентом усиления 40 дБ. Высокочувствительные резонансные пьезоэлектрические датчики воспринимают сигналы АЭ в области собственного резонанса. Резонансная частота датчика составляет приблизительно 200 кГц, а главный резонанс датчика находится на частоте приблизительно 800 кГц.

Датчики подвергаются тщательной калибровке. Чувствительность датчиков калибруется абсолютным методом взаимности и выражается в дБ относительно 1 В/мс$^{-1}$. При калибровке датчиков используются преобразователи, работающие в качестве приемников и передатчиков. Преобразователи закреплены на массивной стальной плите, покрытой снизу и по сторонам содержащим свинец и резину специальным демпфирующим материалом. Этот материал эффективно демпфирует распространяющиеся через плиту отраженные волны. Используемый в качестве передатчика преобразователь работает от генератора, отдающего модулированный сигнал с регулируемой частотой.

Работающие в режиме приема преобразователи, расположенные на определенном расстоянии от передатчика, воспринимают поверхностные волны и отдают соответствующие электрические сигналы на внешнюю аппаратуру. Электрические сигналы усиливаются и регистрируются электронными приборами. Процедура калибровки заключается в определении точного значения резонансной частоты датчика, а затем в определении точного значения чувствительности датчика на этой частоте.

Компактный предусилитель с коэффициентом усиления 40 дБ рассчитан на совместную эксплуатацию с резонансными датчиками. Частотную характеристику прибора определяют сменные блоки, содержащие: фильтры со средней частотой 200 кГц и 800 кГц, а также широкополосный фильтр с линейным диапазоном 10 кГц – 2 Мгц.

Широкополосный усилитель формирования сигнала предназначен для:

- усиления и формирования сигналов АЭ, подлежащих анализу анализатором;
- измерения и регистрации сигналов АЭ при совместной эксплуатации с внешней аппаратурой;
- усиления и формирования электрических сигналов.

Усилитель-формирователь сигнала является усилителем переменного тока общего назначения, перекрывающим частотный диапазон от 0,1 Гц до 2 МГц. Специальные электронные блоки и устройства прибора способствуют его эффективному применению в качестве усилителя-формирователя сигналов АЭ отдаваемых датчиками, предусилителями и анализируемых анализатором импульсов. Усилитель снабжён пиковым детектором, обеспечивающим возможность упрощённого измерения и регистрации сигналов АЭ несложной внешней аппаратурой, например, регистрирующим сигналы постоянного тока самописцем. Коэффициент усиления настраивается дискретно по 10 дБ нажимными кнопками на передней панели. Дискретная настройка на 1 дБ предусмотрена в диапазоне от 0 до 60 дБ. Возможность точной настройки коэффициента усиления и, следовательно, ам-

плитуды сигнала, особенно важна при применении прибора вместе с анализатором импульсов.

Анализатор импульсов АЭ предназначен для анализа и регистрации сигналов АЭ в лабораторных и полевых условиях, определения и локализации источников АЭ, автоматического контроля сигналов АЭ. Анализатор импульсов, основывающийся на уникальном методе анализа и оценки АЭ, обеспечивает высокую степень пропорциональности между воспринимаемыми на поверхности испытуемых объектов сигналами АЭ и показанием цифровых индикаторов. Высокая степень пропорциональности и её обеспечение являются основными требованиями к аппаратуре, результаты измерения которой используются при решении практических задач и проблем. Анализатор импульсов АЭ является универсальным прибором, в котором удобства эксплуатации сочетаются с рядом свойств и возможностей, соответствующих требованиям широкой области измерения, анализа и регистрации сигналов АЭ.

Сигналы АЭ возникают у большинства материалов, подвергаемых механическим усилиям, т.е. там, где происходит деформация и нарушение молекулярного строения материала. Кратковременные импульсные волны, генерируемые в месте нарушения материала, распространяются в подвергаемой механическим усилиям структуре и на поверхности могут обнаруживаться соответствующей аппаратурой. Интенсивность АЭ быстро возрастает именно в ранней стадии разрушения материалов.

Процесс умножения амплитуд и времени осуществляют электронные устройства. Компараторы настроены так, что они отпирают соответствующие вентильные схемы на протяжении интервалов времени, в течении которых амплитуда сигнала АЭ превышает соответственно 0,25; 0,5; 1,0 и 2,0 В. Открытые вентильные схемы пропускают предусмотренные в отдельных каналах прибора счётчики серии импульсов с частотами 1,1; 2,0 и 4,0 Мгц.

Работающий в режиме «локализации» анализатор импульсов дает возможность обнаружения и локализации источников АЭ. В процессе локализации определяется небольшая ограниченная площадь, представляющая источник АЭ.

Воспринимаемый после возврата системы в исходное состояние импульс АЭ способствует подаче серии импульсов с частотой повторения 1 МГц на счетчики в каналах анализатора импульсов. Работа этих счетчиков прекращается в момент восприятия импульса АЭ соответствующими датчиками. Следовательно, определённые цифровые индикаторы анализатора импульсов непосредственно показывают относительное время восприятия (в мкс) импульса АЭ отдельными датчиками.

Электронное блокирующее устройство предотвращает запуск системы затухающими колебаниями, вызванными предшествующими импульсами АЭ. Это особенно важно в управляемых вычислительной машиной автоматических системах, в которых осуществляемый анализатором импульсов цикл локализации и возврата в исходное состояние обычно занимает всего

несколько мс. Повторный запуск системы после её возврата в исходное состояние возможен только при условии, что амплитуда сигнала одновременно находится ниже определенного опорного уровня во всех каналах.

Возможность одновременной эксплуатации любого числа анализаторов импульсов в параллельном соединении способствует созданию собственных систем для локализации источников АЭ в двух- и трехмерном пространстве. В таких системах используется вычислительное устройство или вычислительная машина в качестве приёмника выдаваемой анализаторами импульсов информации.

При совместной эксплуатации анализатора импульсов с внешним регистрирующим устройством, например, с самописцем, возможна графическая регистрация кумулятивных кривых АЭ в функции времени и в режиме определения частоты повторения импульсов АЭ.

Анализатор импульсов АЭ снабжен стандартным устройством сопряжения. Это устройство обеспечивает выдачу цифровой информации, индикацию рабочего режима анализатора, сигнализацию о завершении процесса определения частоты повторения импульсов АЭ и индикацию развития процесса локализации источника АЭ.

Слабые сигналы АЭ, преобразованные пьезокерамическим датчиком в радиоимпульсы амплитудой 10 мкВ-1 мВ и частотой от 80 кГц до 2 МГц, усиливаются широкополосным усилителем и детектируется пиковым детектором (выделяется огибающая). Частота НЧ-огибающая не превышает 10 кГц и может быть легко передана по унифицированному радиоканалу.

К техническим средствам практического диагностирования ГПМ предъявляются требования относительной простоты, небольшой стоимости, автономности питания приборов и аппаратуры, надежной дистанционной передачи информации, достоверности и практической полезности результатов диагностирования и максимально возможного применения стандартного оборудования.

Литература

[1]. Сероштан В.И., Подгорбунский В.А. Применение метода акустической эмиссии для диагностирования металлоконструкций грузоподъемных машин // Наукоемкие технологии в приборо- и машиностроении и развитие инновационной деятельности в вузе. - Калуга: МГТУ им. Н.Э. Баумана, 2014. - С. 203-206.

[2]. Клюев В.В. Неразрушающий контроль и диагностика: Справочник. - 2 изд. - М.: Машиностроение, 2003. - 656 с.

Сероштан Владимир Иванович – канд. техн. наук, доцент КФ МГТУ им. Н.Э. Баумана. E-mail: swi77@yandex.ru.

Ермоленко Владимир Алексеевич – канд. техн. наук, доцент КФ МГТУ им. Н.Э. Баумана. E-mail: tvermolenko@rambler.ru.

Подгорбунский Василий Александрович – студент КФ МГТУ им. Н.Э. Баумана. E-mail: vasily-podgorbunsky@yandex.ru.

Н.П. Сибилёв, А.А. Косенко

УМЕНЬШЕНИЕ МАССЫ МЕТАЛЛОКОНСТРУКЦИЙ ГРУЗОПОДЪЕМНЫХ МАШИН

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

Уменьшение массы металлоконструкций грузоподъемных машин (ГПМ) является актуальной задачей, так как на металлоконструкции таких машин приходится значительная доля массы всей машины, а снижение массы машины приводит к уменьшению нагрузки на ходовые колеса. Это в свою очередь приводит к уменьшению потребной мощности механизма передвижения, следовательно, к снижению массы всего привода вместе с электрооборудованием или при той же мощности - к увеличению производительности машины из-за меньшего времени разгона и торможения[1]. Кроме этого, снижение массы металлоконструкции ведет к облегчению поддерживающих конструкций, таких как подкрановые пути, колонны, эстакады, а у стрелового крана, например, противовеса. Снижение собственной массы металлоконструкции также значительно влияет на уменьшение возникающих в ней динамических нагрузок, что следует из расчетных формул величин этих нагрузок.

В металлоконструкциях ГПМ широко применяют ферменные конструкции различных типов, среди которых привлекают внимание фермы, содержащие стержни круглого сечения, которые обладают рядом преимуществ по сравнению с другими применяемыми профилями.

Прямые трубчатые стержни в ферменных конструкциях, как правило, работают на растяжение или сжатие. В этих условиях трубчатые стержни проявляют себя наиболее эффективно по сравнению с часто применяемыми уголками, так как при равной площади поперечного сечения труба имеет радиус инерции больший, чем у уголка, что позволяет ей воспринимать большие продольные сжимающие нагрузки [2]. Преимуществом труб является возможность применения стержней с малой толщиной стенки. Замкнутые профили, к которым относятся трубы круглого сечения, при одной и той же площади поперечного сечения испытывают меньшую ветровую нагрузку благодаря меньшей площади проекции боковой поверхности.

С целью дальнейшего снижения массы ферменных конструкций ГПМ, направленной на улучшение основных параметров машины, предложено изготавливать трубы для трубчатых стержней этих конструкций из композиционных материалов (КМ) с металлической матрицей, обладающих комплексом свойств, отличающих их от традиционных конструкционных материалов.

В настоящее время в качестве конструкционных материалов во многих отраслях машиностроения нашли широкое применение КМ, среди ко-

торых выделяются волокнистые композиционные материалы (ВКМ), применяемые при разработке и изготовлении изделий, обладающих лучшими прочностными и эксплуатационными свойствами, в том числе весовыми характеристиками, максимальными жесткостью и прочностью узлов, ресурсом работы при эксплуатации, высокой надежностью.

ВКМ представляет собой сплошной материал, состоящий из двух или более компонентов в виде отдельных волокон, обеспечивающих необходимые механические характеристики материала, и матрицы, обеспечивающей совместную работу этих армирующих элементов[3]. Поведение ВКМ под действием различных нагрузок определяется соотношением свойств армирующих элементов и матрицы, а также прочностью связи между ними, где высокопрочные волокна воспринимают основные напряжения возникающие в ВКМ при действии внешних нагрузок, и обеспечивают жесткость и прочность в направлении ориентации волокон.

Особенностями ВКМ являются: состав и формы компонентов в нем определены заранее; заданные свойства материала обеспечиваются принимаемыми количествами компонентов; компоненты различаются по свойствам; между ними существует явная граница раздела. Для достижения совместной работы волокон необходимо создать прочную связь между волокном и матрицей, чтобы на границе раздела между ними при нагружении ВКМ возникали касательные напряжения, способные полностью нагрузить волокна. Поэтому необходимо, чтобы у ВКМ высокопрочные высокомодульные волокна были равномерно распределены в относительно пластичной матрице и не соприкасались между собой. Основными свойствами ВКМ являются высокие прочность и жесткость при низкой плотности, т.е. высокие удельные прочность и жесткость, высокое сопротивление усталостному разрушению[4].

Анализ имеющейся научно - технической информации по созданию и применению ВКМ, с учетом обеспечения приемлемой экономичности показал, что для получения труб трубчатых стержней, с целью применения их в ферменных конструкциях ГПМ, например, в стреле башенного крана, наиболее предпочтителен ВКМ с металлической матрицей системы "сплав алюминия - стальная проволока" (Al – сталь) [5].

Такой вывод обоснован тем, что применение ВКМ с полимерной матрицей не отвечает условиям эксплуатации ферменных конструкций ГПМ. Широко применяемые в конструкциях авиакосмической техники ВКМ с металлической матрицей на основе борных и углеродных волокон также не подходят из-за дороговизны этих армирующих компонентов, малодоступности их, и сложности технологических процессов получения изделий из этих ВКМ.

В качестве армирующего компонента выбрана высокопрочная тонкая стальная проволока из коррозионностойкой стали 18Х15Н5АМ3 диаметром 150 мкм, с пределом прочности $\sigma_в = 3600\,МПа$, модулем упругости Е=200 ГПа, плотностью $\gamma = 7800\,кг/м^3$, которая является наиболее дос-

тупным и технологичным материалом среди упрочнителей, и выпускается в промышленных масштабах[5]. В качестве материала матрицы выбран алюминиевый сплав, имеющий плотность $\gamma = 2700\ кг/м^3$, предел прочности $\sigma_в = 200\ МПа$, модуль упругости E=70 ГПа.

Механические свойства ВКМ, в соответствии с законом аддитивности[3], зависят от прочностных характеристик компонентов и объемного содержания волокон в композиционном материале:

$$\sigma_к = \upsilon_в \cdot \sigma_в + (1 - \upsilon_в) \cdot \sigma_m,$$

где $\sigma_к, \sigma_в, \sigma_m$ - прочности ВКМ, волокон и матрицы соответственно, $\upsilon_в$- объемное содержание волокон(коэффициент армирования).

Значение модуля упругости $E_к$ композиционного материала определяют аналогично $\sigma_к$, в соответствии с законом аддитивности в зависимости от значений модулей упругости компонентов: $E_в$ - волокон (тонкой стальной проволоки), E_m – матрицы и $\upsilon_в$ - объемного содержания волокон в ВКМ.

При принятом оптимальном коэффициенте армирования $\upsilon_в = 0.5$ волокнистый материал "Al- сталь" имеет значения: предел прочности $\sigma_к = 1900$ МПа, модуль упругости E=135 ГПа и плотность $\gamma_к = 5250\ кг/м^3$

Представленные прочность и плотность ВКМ и существующая технология получения трубчатых стержней из ВКМ[4] позволяет получить уменьшение массы металлоконструкций ГПМ.

Список литературы

[1]. Александров М.П. Грузоподъёмные машины: Учебник для вузов. М.: Изд-во МГТУ им. Н.Э. Баумана - Высшая школа, 2000. - 552 с.

[2]. Сопротивление материалов: учеб. для вузов/ В.И. Феодосьев. - 15-е изд., испр. М.: Изд-во МГТУ им. Н.Э. Баумана, 2010 - 590 с.

[3]. Буланов И.М., Воробей В.В. Технология ракетных и аэрокосмических конструкций из композиционных материалов: Учеб. для вузов. М.: Изд-во МГТУ им.Н.Э. Баумана, 1998.- 516 с.

[4]. Композиционные материалы: Справочник/ В.В. Васильев, В.Д. Протасов, В.В. Болотин и др.; Под общ. ред. В.В. Васильева, Ю.М. Тарнопольского. М.: Машиностроение, 1990 - 512 с.

[5]. Справочник по конструкционным материалам: Справочник/ Б.Н. Арзамасов, Т.В. Соловьёва, С.А. Герасимов и др.; Под ред. Б.Н. Арзамасова, Т.В. Соловьёвой. М.: Изд-во МГТУ им. Н.Э. Баумана, 2005. - 640 с.

Сибилев Николай Пантелеевич – канд. техн. наук, доцент КФ МГТУ им. Н.Э. Баумана. E-mail: sinp39@gmail.com.

Косенко Алексей Алексеевич – студент КФ МГТУ им. Н.Э. Баумана. E-mail: alekseylek8@yandex.ru.

СЕКЦИЯ 14.

ФИЗИКО-МАТЕМАТИЧЕСКИЕ И ХИМИКО-ТЕХНОЛОГИЧЕСКИЕ ПРОБЛЕМЫ ПРОЕКТИРОВАНИЯ СЛОЖНЫХ ТЕХНИЧЕСКИХ СИСТЕМ

УДК 621.391

А.К. Горбунов, М.Л. Прокофьев

ДЕКОДИРОВАНИЕ ЦИКЛИЧЕСКИХ КОДОВ

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

При построении мажоритарных схем декодирование для кодов, имеющих системы квазиразделенных проверок, возникает, так называемая, проблема «ортогонализации».

Известные способы определения информационных символов в мажоритарном декодере не позволяют решить эту проблему в общем случае, даже для циклических кодов. Способ разделения в несколько шагов, основанный на построении необходимого количества мажоритарных проверок для каждого шага, не имеет общего алгоритма, а во многих случаях неприменим.

Второй способ связан о решением систем линейных уравнений в поле $\mathrm{GF}(q)$. Предложен алгоритм разделения систем квазиразделенных проверок для мажоритарных $M(n,k)$-кодов, построенных с помощью конечных геометрий.

Ниже рассматривается алгоритм разделения, который применим для всех циклических кодов, имеющих системы квазиразделенных проверок.

Выходная последовательность решающего мажоритарного элемента при декодировании систем квазиразделенных проверок имеет вид:

$$C(x) \equiv a(x)R(x) mod\ x^n - 1. \qquad \text{(I)}$$

В этом соотношении $a(x)$ –входная последовательности, $R(x)$– полином, который описывает линейное преобразование, осуществляемое декодирующей схемой.

Решение этого сравнения относительно $a(x)$ позволяет выделить информационные символы для любого циклического кода, имеющего систему квазиразделенных проверок.

Сравнение (I) имеет q^{γ}решений, где γ– степень наибольшегообщего делителя$R(x)$ и $\frac{x^n-1}{g(x)}$, $g(x)$– генераторный полиномциклического кода. Таким образом, сложность и алгоритм решения этого сравнения зависят от конкретного кода и системы проверок. Коды, для которых степень γ невелика, декодируются схемой, алгоритм построения которой основан на решении линейных уравнений.

Ко второй группе относятся коды, у которых степень НОД $\left(R(x); \frac{x^n-1}{g(x)}\right)$велика. В этом случае применим алгоритм ступенчатого декодирования.

Рассмотрим циклический(n, K_S)-код A_S,имеющий систему квазиразделенных проверок. Каждая проверка систем включает символы с номерами$i_1, i_2, \dots, i_n$.Пусть $h_S(x)$–проверочный и $g_S(x) = \frac{x^n-1}{x^{KS} h_S(x-1)}$ - генераторный полиномы кодаA_S.

Пусть $N_S(x)$ - полином, ассоциированныйс вектором$g_S(x)$, входящим во все проверки системы, тогда полином $C_S(x)$можно представить в виде

$$C_S(x) \equiv a_S(x) N_S(x^{-1}) mod\ x^n - 1.$$

Чтобы применить алгоритм ступенчатого декодирования, требуется определить параметры кода и найти систему проверок на каждой ступени декодирования. Для произвольных циклических кодов проверочный и генераторный полином на следующей ступени декодирования модно определить следующим образом:

$$h_{S-1}(x) = \text{НОД}\big(h_S(x), N_S(x)\big),$$

а $g_{S-1}(x) = \frac{x^n-1}{x^{K_{s-1}} h_{S-1}(x^{-1})}$,где K_{s-1}– число информационных символов хода A_{S-1}.

Для построения систем проверок на каждой ступени декодирования воспользуемся алгоритмом.

Определение 1. Будем говорить, что циклический (n, k)-код, инвариантный относительно группы перестановок P, является разделенным с параметром разделения δ, если множество $N(a^*) = \{0\}$ состоит из одного нулевого элемента и величина удовлетворяет условиям леммы.

Определение 2. Будем говорить, что циклический (n, k)-код, инвариантный относительно группы перестановок P, является квазиразделенным относительно множества $N(a^*)$ с параметром квазиразделения $\delta(N(a^*)) = \delta$, если величина δ удовлетворяет условиям леммы.

Пусть $q_s^{(o)}$-вектор инцидентности множества индексов $N_S({a_S}^*)$ относительно которого можно построить систему квазиразделенных . проверок наS-ступени декодирования.

Теорема. Пусть$A_0 \subset A_1 \subset \dots \subset A_S$ – последовательность циклических кодов, вложенных друг в друга, т.е. генераторный полином $g_i(x)$ кодаA_i, $i = 0,1, \dots, S$, делит генераторный полином $g_i(x)$ кода A_j, $j \le i$, и квазиразделенных относительно множеств$N_0({a_0}^*), N_1({a_1}^*), \dots, N_S({a_S}^*)$ с параметрами квазиразделения $\delta_0(N_0({a_0}^*)), \delta_1(N_1({a_1}^*)), \dots, \delta_S(N_S({a_S}^*))$ соответственно.

Причем эта последовательность такова,что $N_S({a_S}^*) \subset E(a^*)$, $N_{i-1}({a_{i-1}}^*) \subset N_i({a_i}^*), i = 1, \dots, S$и$N_0({a_0}^*)$ – одноэлементное множество.

Тогда A_S –есть циклический код, декодируемый мажоритарно среализуемым расстоянием

$$\delta \ge \min \delta_i\big(N_i({a_i}^*)\big), i \in \{0, \dots, S\}.$$

Доказательство теоремы следует из леммы и определений 1 и 2. Для построения схемы декодирования определяются базисные элементы на каждой ступени декодирования. Методика их определения аналогична описанной для проективных $M(n,k)$-кодов. Процедура декодирования рассматриваемых здесь циклических кодов, может иметь отличие от описанной процедуры декодирования $M(n,k)$-кодов. Это отличие заключается в том, что для декодирования информационных символов различных ступеней могут потребоваться свои декодирующие схемы. Выбором соответствующей системы проверок на первом шагедекодирования можно упростить схему декодирующего устройства, используя для построения систем проверок на каждой ступени декодирования предыдущую путем выбрасывания части символов.

Список литературы

[1]. Дж. Вольфовиц Теоремы кодирования теории информации. Мир., М., 1992.

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.

УДК 621.391

А.К. Горбунов, Я.А. Бланк

ДИССИПАЦИЯ АТМОСФЕРЫ

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

Луна отличается от планет тем, что у нее отсутствует три нижних слоя атмосферы, и можно считать, что экзосфера начинается прямо от твердой поверхности. В лунной экзосфере атомы, молекулы и ионы, проходя без столкновений расстояния порядка размеров космического тела, описывают баллистические траектории, и если их скорость превышает параболическую скорость Луны $v_{П}$=2,36 км/сек, то они беспрепятственно уходят в космическое пространство. Нетрудно определить плотность частиц $n_э$ у основания экзосферы, воспользовавшись формулой

$$l \approx (n_э \sigma)^{-1},$$

где $l \approx R_л$ - длина свободного пробега, а σ-газовое поперечное сечение для рассеяния при столкновении двух частиц. Подставляя числа $R_л \approx 1{,}7 \cdot 10^8$ см; $\sigma \approx 10^{-15} см^2$, получим

$$n_э \approx 7 \cdot 10^6 частиц/см^3.$$

Покажем, что у Луны атмосфера должна диссипировать, и потому реальная плотность частиц у ее поверхности должна быть много меньше. Пусть плотность $n_э$ у ее основания будет $n_э \approx 7 \cdot 10^6$; требуется определить время, за которое экзосфера рассеется. Примем температуру T экзосферы постоянной, а распределение скоростей максвелловское:

$$f(v) = \left(\frac{m}{2\pi kT}\right)^{3/2} \exp\left(-\frac{mv^2}{2kT}\right);$$

k-постоянная Больцмана, m-масса частиц. Поток F покидающих экзосферу частиц, отнесенный к ее основанию, равен

$$F = (4\pi R_л^2) n_э \int_0^{2\pi} d\varphi \int_0^{\pi/2} \sin\theta d\theta \int_{v_{П}}^{\infty} (v\cos\vartheta) f(v) v^2 dv =$$

$$= 2R_л^2 n_э \left(\frac{2\pi kT}{m}\right)^{1/2} \left(1 + \frac{mv_{П}^2}{2kT}\right) \exp\left[-\frac{mv_{П}^2}{2kT}\right]. \quad (1)$$

Теперь вычислим полное число частиц в экзосфере $N_э$. Уравнение состояния идеального газа с молекулярным весом μ имеет вид

$$p = \frac{\rho}{\mu} RT.$$

где p-давление, ρ-плотность, R-газовая постоянная. Обозначая через h высоту и используя условие гидростатического равновесия

$$\frac{dp}{dh} = -\rho g,$$

найдем

$$\frac{dp}{p} = \frac{dp}{\rho} + \frac{dT}{T} = -\frac{\mu g}{RT} dh,$$

или

$$p = p_0 \exp\left[-\frac{\mu g h}{RT}\right] = p_0 \exp\left[-\frac{h}{H}\right]; \; H = \frac{RT}{\mu g} \tag{2}$$

Величина H называется шкалой высот и определяет высоту, на которой давление падает в e раз. С хорошим приближением экзосферу можно считать изотермической, т.е. $\frac{dT}{dH} = 0$. Тогда выражение, аналогичное (2), получается и для плотности

$$p = p_0 \exp\left[-h / H\right],$$

и для концентрации

$$n = n_0 \exp\left[-h / H\right]. \tag{3}$$

В случае Луны $n_0 = n_э$. С помощью (3) можно определить полное число частиц в экзосфере $N_э$:

$$N_э = 4\pi R_л^2 \int_0^\infty n(h) dh = 2\pi R_л^2 n_э H. \tag{4}$$

По определению скорость диссипации экзосферы равна

$$\frac{dN_э}{dt} = -F. \tag{5}$$

Теперь (1) с помощью (4) можно переписать в виде

$$F = \frac{N}{2\sqrt{\pi} H} \left(\frac{2kT}{m}\right)^{1/2} \left(1 + \frac{m v_П^2}{2kT}\right) \exp\left[-\frac{m v_П^2}{2kT}\right].$$

Интегрируя (5), находим

$$\frac{dN}{N} = \frac{1}{H} \left(\frac{kT}{2\pi m}\right)^{1/2} \left(1 + \frac{m v_П^2}{2kT}\right) \exp\left[-\frac{m v_П^2}{2kT}\right] dt$$

и

$$N = N_0 \exp(-t / t_Д),$$

$$t_Д^{-1} = \frac{1}{H} \left(\frac{kT}{2\pi m}\right)^{1/2} \left(1 + \frac{m v_П^2}{2kT}\right) \exp\left[-\frac{m v_П^2}{2kT}\right] \tag{6}$$

Величина $t_Д$ характеризует скорость гравитационной диссипации экзосферы. Именно за время $t = t_Д$ число частиц в экзосфере уменьшается в e раз. Выражение (6) можно упростить, исключая H и g с помощью соотношений

$$H = \frac{kT}{gm}, g = \frac{M_Л G}{R_л^2}$$

и вводя среднюю тепловую скорость движения молекул $\bar{v} = 2(2kT/\pi m)^{1/2}$. Тогда

$$t_Д = \frac{H}{\bar{v}}\left(\frac{H}{R_Л}\right)\left(1+\frac{R_Л}{H}\right)^{-1}\exp\left[\frac{R_Л}{H}\right]. \quad (7)$$

Для Луны выражение (7) для времени диссипации атмосферы (экзосферы) является окончательным. В случае планет, обладающих атмосферами, выражение для $t_Д$ должно содержать еще множитель, учитывающий то обстоятельство, что количество частиц в экзосфере составляет лишь ничтожную долю от полного числа частиц в атмосфере.

Эксперименты показали, что атмосфера Луны не может иметь плотность частиц больше $10^{10} см^{-3}$.

Отсутствие следов атмосферы на Луне указывает, что в солнечной системе действуют факторы, способные «сдуть» слабую атмосферу с тел, не обладающих заметным магнитным полем. Дальнейшие исследования этого вопроса приведут к важным заключениям о свойствах окололунного пространства.

Список литературы

[1]. *Грингауз К.И., Безруких В.В., Хохлов М.З., Застенкер Г.Н., Ремизов А.П., Мусатов Л.С.* Результаты экспериментов по изучению плазмы в окололунном пространстве с помощью ловушек заряженных частиц на первом искусственном спутнике Луны. Косм. Исслед., 4, вып.6.

Горбунов Александр Константинович – д-р физ.-мат. наук, заведующий кафедрой "Физика" КФ МГТУ им. Н.Э. Баумана. E-mail: kf_MGTU_FIZ@mail.ru.

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

УДК 621.391

А.К. Горбунов, Т.С. Белова

ЗАДАЧА ОБ ИСТОЧНИКЕ

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 множестве выходных. Определяется стоимость кодирования. Выполняется основная теорема К. Шеннона для каналов без шума. Устанавливается условие взаимной однозначности кодирования.

Обозначения. Пусть α – некоторый алфавит, тогда α^* и α^∞ - множества всех слов и всех последовательностей в α, $|A|$ – число букв в $A \in \alpha^*$. Если $A_1 = \alpha_1 ... \alpha_k \in \alpha^*$ и $A_2 = \alpha_1' \alpha_2' ... \in \alpha^* \cup \alpha^\infty$, то $A_1 \cdot A_2 = \alpha_1 ... \alpha_k \alpha_1' \alpha_2' ... \in \alpha^* \cup \alpha^\infty$. Слово $A_1 \in \alpha^*$ есть префикс $A_2 \in \alpha^* \cup \alpha^\infty$, что записывается $A_1 \prec A_2$, если $\exists A_3 \in \alpha^* \cup \alpha^\infty (A_2 = A_1 \cdot A_2)$. Если $A \in \alpha^*$ и $V \subset \alpha^* \cup \alpha^\infty$, то $A \cdot V = \cup_{A_1 \in V} A \cdot A_1$ и $A \prec V$ равносильно $\forall A_1 \in V (A \prec A_1)$. Если V – некоторое множество, то $\|V\|$ – его мощность.

Пусть далее α – конечный или счетный входной алфавит, β – конечный выходной алфавит, $\sigma(\alpha)$ – некоторая σ – алгебра подмножеств α^∞, содержащая все конечномерные цилиндры, $\sigma_0(\beta)$- σ – алгебра подмножеств β^∞, порожденная всеми конечномерными цилиндрами, ρ – вероятностная меры на $\sigma(\alpha)$.

Источник сообщений по определению есть вероятностное пространство $\{\alpha^\infty, \sigma(\alpha), \rho\}$. Меру множества $A \cdot \alpha^\infty$, где $A \in \alpha^*$, обозначим через $\rho(A)$ и назовем вероятностью слова A. Верхней и нижней энтропиями источника назовем $\overline{H} = \overline{\lim_{n\to\infty}} \frac{-1}{n} \sum_{|A|=n} \rho(A) \ln \rho(A)$ и $\underline{H} = \underline{\lim_{n\to\infty}} \frac{-1}{n} \sum_{|A|=n} \rho(A) \ln \rho(A)$ ($\overline{H}$ и $\underline{H}$ определены для любого источника).

Отображение φ: $\alpha^\infty \to \beta^\infty$ 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 ρ) эквивалентны. Пусть $\sigma(\beta)$ - σ - алгебра, состоящая из множеств V, для которых $\varphi^{-1}(V) \in \sigma(\alpha)$. Кодирование переносит меру ρ 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 $A \prec \varphi^{-1}(B \cdot \beta^\infty)$ п. в. . Для любого $n = 1, 2, \ldots$ 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:

$$t(n,B^{'})\begin{cases}\min_{B\in V(n,B^{'})}|B|, & \text{если } V(n,B^{'})\neq\varnothing\\ +\infty, & \text{если } V(n,B^{'})=\varnothing\end{cases};$$

где $V(n,B^{'})=\{B\in\beta^{*}:B\prec B^{'}\ \&\ \exists A\in\alpha^{*}(|A|=n\ \&\ A\prec\varphi^{-1}(B\cdot\beta^{*})\text{п.в.})\}$

Лемма 1. При любом натуральном n функция $t(n,B^{'})$ определена почти всюду на β^{∞} и измерима относительно $\sigma(\beta)$.

Среднее число букв алфавита β, необходимых для декодирования первых n букв сообщения есть $C(n)=\int\limits_{\beta^{\infty}}t(n,B^{'})d\rho$. Верхней и нижней стоимостями кодирования назовем $\overline{C}=\overline{\lim\limits_{n\to\infty}}\frac{1}{n}C(n)$ и $\underline{C}=\underline{\lim\limits_{n\to\infty}}\frac{1}{n}C(n)$, которые определены для любого кодирования.

Основная теорема для каналов без шума.

А. При любых источнике и кодировании $\overline{C}\geq\overline{H}\cdot\ln^{-1}\|\beta\|$, $\underline{C}\geq\underline{H}\cdot\ln^{-1}\|\beta\|$.

Б. Для любого источника существует кодирование, для которого $\overline{C}=\overline{H}\cdot\ln^{-1}\|\beta\|$ и $\underline{C}=\underline{H}\cdot\ln^{-1}\|\beta\|$.

Замечание. В отличие от формулировок других авторов дешифруемость не требуется ни в «А», ни в «В».

ТЕОРЕМА 1. Если $\underline{C}<\infty$, то отображение φ почти всюду взаимно однозначно.

ТЕОРЕМА 2. Если источник бернуллиевский, $\|\alpha\|<\infty$, кодирование побуквенное и дешифруемое, то $\overline{C}=\underline{C}<\infty$.

Следствие. Если выполнены условия Теоремы 2 , то

$$\rho(\{A\in\alpha^{\infty}:\|\varphi^{-1}(\varphi(A))\|>1\})=0.$$

ТЕОРЕМА 3.Если источник бернуллиевский, вероятности всех букв положительны, $\|\alpha\|<\infty$ и кодирование побуквенное, то $\overline{C}=\underline{C}<\infty$ тогда и только тогда, когда кодирование дешифруемо.

Теоремы 2, 3 обобщаются на случай конечноавтоматного кодирования марковских источников произвольного конечного порядка в предположении, что вероятности всех слов положительны, автомат сильно связный и кодирование дешифруемо.

Литература:

[1]. P. Billingsley. On the coding theorem for the noiseless chanel, Ann. Math. Statistics. 2001, c. 2, 72, 594-601.

Горбунов Александр Константинович – д-р физ.-мат. наук, заведующий кафедрой "Физика" КФ МГТУ им. Н.Э. Баумана. E-mail: kf_MGTU_FIZ@mail.ru.

Белова Татьяна Сергеевна – студент КФ МГТУ им. Н.Э. Баумана. E-mail: tanya.belova19@yandex.ru.

А.К. Горбунов, В.Ю. Салова

КОДЫ РИДА-СОЛОМОНА

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

В работе 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 вероятности ошибочного приема i - го элемента $0 \le p(\mu_i) \le \frac{q-1}{q}$ определяются значениями стационарного случайного процесса μ_i, $i = 1, 2, \ldots$. Такая модель хорошо описывает радиоканалы с ионосферным отражением или тропосферным рассеянием радиоволн.

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 μ. Вероятность безошибочного приема кодового блока длины n в КПП имеет вид $P_{бо}(n) = \int \ldots \int \prod_{i=1}^{n} (1 - P(\mu_i))\omega(\mu_1, \ldots \mu_n) d\mu_1 \ldots d\mu_n$, где $\omega(\mu_1, \ldots \mu_n)$ - многомерное распределение параметра μ. 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 $P_{бо}(n)$, 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

$$p_{но} \le \frac{1}{q^{n-k}} \tag{1}$$

Важнейшей задачей является, однако, нахождение универсальных кодов, обеспечивающих требуемую величину $p_{но}$ для любых КПП. Если случайный параметр μ_i изменяется столь медленно, что его можно считать постоянным на длине кодового блока, то задача сводится к построению кодов, обеспечивающих требуемое значение $p_{но}$ для каналов без памяти с любыми вероятностями ошибок p. В этом случае для групповых кодов

$$p_{но} = \sum_{i=1}^{n} N_i \left(\frac{p}{q-1} \right)^i (1-p)^{n-i} \qquad (2)$$

N_i - число кодовых слов веса i.

При обрыве канала, то есть когда $p = \frac{q-1}{q}$, получаем $p_{но} = \frac{1}{q^{n-k}}$.Однако, в отличие от кодов с исправлением ошибок, для кодов с обнаружением отсутствует, в общем случае, свойство монотонного убывания $p_{но}$ как функции p.

С помощью нижней границы для N_i двоичного кода с заданным $d_{мин} = 2t+1$, найдем границы для $p_{но}$:

$$p_{но} \le \sum_{i=2t+1}^{n} \frac{C_n^{i-t}}{C_i^t} p^i (1-p)^{n-i} \le \frac{p^t (1-p)^{-t}}{C_{2t+1}^t} \qquad (3)$$

Получена модификация оценок (3):

$$p_{но} \le \frac{1}{C_{n+t}^t} \left[2^t - 2^{-n+1} \sum_{i=0}^{t-1} C_{n+t} - 2^{-n} \sum_{i=t}^{2t} C_{n+t}^i \right] < \frac{2^t}{C_{n+t}^t} \qquad (4)$$

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 $p_{но}$. Более правильна, на наш взгляд, постановка задачи о нахождении классов кодов, допускающих удобную оценку максимума $p_{но}$ по всем p.

Доказывается, что для q - ичных укороченных (n,k) кодов Рида - Соломона, при условии, что $n \le q-1$, справедлива оценка

$$p_{но} \le \frac{l}{q^{n-k}} \qquad (5)$$

(Например код (15,20) при $q = 16$ обеспечивает для любых состояний канала $p_{но} \le 2,7*10^{-6}$)

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 кодами. Для таких кодов получены оценки

$$p_{но} \le \frac{1}{q^{n_2-k_2}} \sum_{j=d_2}^{n_2} C_{n_2}^j q^j p^{d_1 j} (1-p)^{n_1 n_2 - d_1 j} \qquad (6)$$

$$p_{но} \ge \frac{q-1}{q^{n_2-k_2}} \sum_{j=d_2}^{n_2} C_{n_2}^j q^{j-1} \left(p(1-p) \right)^{\frac{n_1 2^{k_1-1} j}{2^{k_1}-1}} (1-p)^{n_1(n_2-j)} \left(1 - \frac{j-1}{q} \right) \qquad (7)$$

где (n_1, k_1) - параметры внутреннего кода, d_1 - минимальное расстояние внутреннего кода; (n_2, k_2) - параметры внешнего кода, d_2 - минимальное расстояние, $q = 2^{k_1}$.

Предположим теперь, что переменный параметр можно считать постоянным только на $n_1 << n$ 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

$$p_{но} \le n_2 \left(\frac{d_1}{n_1}\right)^{d_1} \left(1 - \frac{d_1}{n_1}\right)^{n_1 - d_1} \tag{8}$$

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 $p_{но} \le p_{доп}$ для любого $0 \le p \le \frac{q-1}{q}$ в канале без памяти, то он обеспечит $p_{но} \le p_{доп}$ и для любого стационарного КПП.

Литература:

[1]. Дж. Вольфовиц *Теоремы кодирования теории информации*. Москва: Мир, 1992, 248с.

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.

А.К. Горбунов, А.Н. Потапова

КОЛИЧЕСТВО ИНФОРМАЦИИ И ЭНТРОПИЯ.

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

В процессе прохождения через звенья ОЭС сигнал претерпевает ряд преобразований, направленных на получение нужных нам сведений – полезной информации. С практической точки зрения целесообразно оценить информацию в количественной мере с тем, чтобы определить возможности ОЭС или отдельных ее звеньев передавать информацию без потерь.

Очевидно, что получение информации в общем случае возможно, если имеется какая-либо неопределенность в состоянии того объекта, от которого эта информация исходит. Мы уже отмечали, что, если сигнал детерминирован, т.е. все его параметры заранее известны, то никакой информации такой сигнал не несет. Только случайные сигналы могут содержать информацию, и поэтому понятие количества информации связано с вероятностными характеристиками сигналов. Допустим, что сигнал может принимать два значения 1 или 0. В результате принятия реализации такого сигнала мы получим какую-то информацию, например, есть источник излучения в уголовном поле ОЭС или его нет. Очевидно, что чем больше значений может принимать сигнал, например десять, тем большая информация может быть получена в результате принятия реализации такого сигнала.

В общем случае вероятности каждого из возможных значений сигналов могут быть различными. Допустим, что сигнал может принимать значения $n_1, n_2, \ldots, n_n$ с вероятностями $p(n_1), p(n_2), \ldots, p(n_n)$ ответственно. Естественно, что чем априорно (до принятия реализации) вероятность какого-либо значения $p_i(n_i)$ меньше, чем большее количество информации сигнал n_i несет. Например, в сообщении «на соседней улице такая же ясная погода, как и на нашей» содержится мало информации, поскольку вероятность того, что на расстоянии в сотни метров какая-то другая погода, мала. Если же сообщено «на соседней улице ливень», хотя в окно светит солнце и нет намека на дождь, несет значительно больше информации. Хотя такое событие маловероятно, но оно все-таки возможно, т.е. имеется конечная вероятность его появления. Оценить количественно априорную неопределенность (т.е. наше «незнание») в состоянии какого-либо объекта можно величиной, обратно пропорциональной вероятности появления значения события, т.е. как $1/p(\mathrm{n}_i)$. Но такая мера неудобна, поскольку при $p(\mathrm{n}_i)=1$ неопределенность оценивается конечной величиной, равной единице, хотя никакой неопределенности нет. Для количественной оценки неопределенности в состоянии объекта принято использовать логарифмическую меру, называемую частной энтропией $H(\mathrm{n}_i)=\log_a(1/\mathrm{p}(\mathrm{n}_i))$.

Полную энтропию можно получить усреднением частных энтропий, т.е. как

$$H_{apr} = -\sum_{i=1}^{N} \mathrm{p}(\mathrm{n}_i)\log_a \mathrm{p}(\mathrm{n}_i). \qquad (1)$$

Если после принятия реализации сигнала осталась какая-либо неопределенность в состоянии объекта, характеризуемая апостериорной (после опыта) энтропией, то количество информации I(n) определяется как $\mathrm{I(n)} = H_{apr} - H_{aps}$.

Если неопределенность полностью снята, то априорная энтропия и количество полученной информации численно совпадают. Единицы измерения энтропии и количества информации зависят от выбора логарифма. При использовании десятичных логарифмов единица измерения называется дит, натуральных – нит, двоичных – бит.

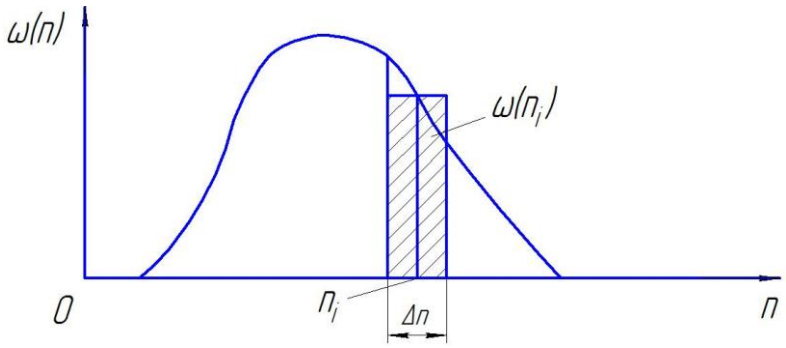


Рис. 1 Определение энтропии непрерывного сигнала.

Остановимся на свойствах энтропии.

1. Энтропия есть величина вещественная, ограниченная и неотрицательная. Это следует непосредственно из определения (1) поскольку $0 \le \mathrm{p}(\mathrm{n}_i) \le 1$.

2. Энтропия максимальна, если все события равновероятны. Максимальное значение энтропии

$$H_{\max} = \sum_{i=1}^{N} \frac{1}{N}\log_2 \frac{1}{N} = \log_2 N.$$

3. Энтропия системы двух альтернативных событий может измениться в пределах от нуля до единицы.

До сих пор мы предполагали, что сообщение имеет дискретных характер, т.е. сигнал может принимать определенное число конечных значений с различной вероятностью. Непрерывные сигналы характеризуются плотностью распределения вероятности $w(n)$, при этом вероятность нахождения значения случайной величины в интервале $n + \Delta n$ равна

$$p[n \le n(\mathrm{x}) \le \mathrm{n} + \Delta\mathrm{n}] = \int_{\Delta\mathrm{n}} w(\mathrm{n})\,\mathrm{dn} \approx w(n_i)\Delta\mathrm{n}.$$

Если разбирать функцию $w(\mathrm{n})$ на участки $\square\mathrm{n}$ (рис.1), то величина $\mathrm{p}[\mathrm{n} \le \mathrm{n}(\mathrm{x}) \le \mathrm{n}+\square\mathrm{n}]$ численно равна площади заштрихованного прямоугольника.

Заметим энтропию непрерывного сообщения энтропией дискретного, взяв значения n_i и соответствующие им вероятности:

$$H_{apr} = -\sum_{i=1}^{N} p(n_i)\log_2 p(n_i) = -\sum_{i=1}^{N} w(n_i)\square\mathrm{n}\log_2[w(n_i)\square\mathrm{n}] =$$

$$= \sum_{i=1}^{N} w(n_i)\square\mathrm{n}\log_2 w(n_i) - \sum_{i=1}^{N} w(n_i)\square\mathrm{n}\log_2\square\mathrm{n}.$$

Переход к энтропии непрерывного сообщения возможен при $\square\mathrm{n} \to 0$, т.е.

$$\lim_{\square\mathrm{n}\to 0}\{-\sum_{i=1}^{N} w(n_i)\square\mathrm{n}\log_2 w(n_i) - \sum_{i=1}^{N} w(n_i)\square\mathrm{n}\log_2\square\mathrm{n}\} =$$

$$= -\int_{-\infty}^{\infty} w(n)\log_2 w(n)dn - \lim_{\square\mathrm{n}\to 0}\log_2\square\mathrm{n}. \qquad (2)$$

Здесь учтено, что

$$\lim_{\square\mathrm{n}\to 0}\sum_{i=1}^{N} w(n)\square\mathrm{n} = \int_{-\infty}^{\infty} w(\mathrm{n})\,\mathrm{dn} = 1.$$

Второй член в формуле (2) является константой, поскольку несет конечную величину, определяемую разрешением системы, например по уровню яркости или в пространстве. В связи с этим член исключается из рассмотрения, а мерой энтропии непрерывного сигнала принимается величина

$$h(n) = -\int_{-\infty}^{\infty} w(\mathrm{n})\log_2 w(\mathrm{n})\,\mathrm{dn},$$

называемая дифференциальной энтропией. В отличие от энтропии дискретных сообщений величина $h(\mathrm{n})$ зависит от выбора единиц измерения n, поэтому как абсолютная мера неопределенности использована быть не может.

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.

А.К. Горбунов, А.В. Анпилогов

МОДЕЛЬ МЕТОДА СЛУЧАЙНОГО БАЛАНСА

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

Пусть имеется t факторов, т.е. переменных x_α, α=1, …, t, принимающих по нашему выбору одно из двух значений 0 или 1. Известно, что какие-то s<<t из этих факторов – значимые. Задана функция y(x) от вектора x={x_α, α=1, …,t}, равная 0, если число n значимых факторов, равных 1 заключено в пределах $0 \leq \propto \leq n < b \leq s$ и $y = 1$ в противном случае. Требуется найти все значимые факторы с помощью экспериментов следующего типа. Каждому фактору x_α в l-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 $r_{mn} = P\{z_i = n/y_i = m\}$; $m, n = 0{,}1$. 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 результатов предыдущих измерений, но можно упростить анализ экспериментов [1].

Зададим вероятности β и γ такими, 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 β и γ ошибок. Затем описывается конкретная стратегия проведения измерений и несколько способов анализа экспериментов. Получены оценки числа экспериментов и сложности их обработки при использовании этих методов. Результаты обобщаются на случай, когда для s задано априорное распределение.

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

$$N > S log_2 t - log_2(S!) \qquad (1)$$

В этой работе мы уделяем главное внимание слагаемому в оценке числа экспериментов, зависящему от t, который наиболее важен при t→∞, $S = const$.

В случае симметричного канала с шумом из сильного обращения теоремы кодирования следует, что нижней оценкой числа N экспериментов при заданных вероятностях ошибок β и γ является:

$$N > \left(Slog_2 t - log_2(S!)\right)\left(1 + H(r)\right)^{-1} \quad (2)$$

где

$$H(r) = rlog_2 r + (1-r)log_2(1-r)$$

Из-за того, что кодирование у нас имеет специальный характер, теорема Шеннона, оценивающая сверху длину оптимально закодированного сообщения, не может быть непосредственно применена для оценки сверху числа экспериментов. Известную схему доказательства ее, использующую случайное кодирование, приходится модифицировать, предполагая зависимыми последовательности $y_1, \ldots, y_N$, 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 $a = 1, b = 2P\{y = 1\} \geq -\frac{1}{e} + 1$а пропускная способность для симметричного канала достигается при $P\{y = 1\} = 1/2$. Используя теоремы Муавра-Лапласа и Пуассона можно вывести достаточные условия того, чтобы 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 $Slog_2 t$. Для этого положим, что $x_{\alpha i}$ – случайные величины, независимые при разных α или i и $P\{x_{\alpha i} = 0\} = 2^{-1/s} = q$. В процессе декодирования мы оставляем только факторы, равные 0 во всех экспериментах с y=0. Из них мы составляем всевозможные s-ки.

<u>Теорема 1.</u> Если число описанных выше экспериментов

$$N > Slog_2 t + S^2 log_2 S - Slog_2 \delta \quad (3)$$

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 операций, 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.

Опишем теперь для простоты в случае $a = 0, b = 1$ и симметричного канала, $0 < r < 1/2$ анализ, который при том же планировании экспериментов

требует примерно в $(ln2)^{-1}$ раз больше экспериментов, и порядка t циклов операций. Он устойчив по отношению к неточности знания величины S.

Метод заключается в проверке каждого фактора x_α гипотезы его значимости. Каждый эксперимент имеет при данном α 4 исхода $(y_i, x_{\propto i}); y_i = 0{,}1; x_{\propto i} = 0{,}1$. Применением теоремы о больших уклонениях к сумме независимых логарифмов ε_i отношений правдоподобия доказываются.

Теорема 2. Если число описанных выше экспериментов

$$N > slog_2(t\beta^{-1})\left[\left(1 + H(r)\right)ln2\right]^{-1} \quad (4)$$

а $x = M_3\varepsilon\left\{1 - c_{\gamma\vartheta}\left[\left(1 + H(r)\right)log_2(t\beta^{-1})\right]^{-1}\right\}$, где $c_{\gamma\vartheta}$ - постоянная, зависящая от γ, s, то с вероятностью, большей соответственно $1 - \beta(1-\gamma)N^{-1}\sum_{i=1}^{n}\varepsilon_i < x\,(x)$ для всех незначимых (значимых) факторов x_α.

Можно немного улучшить (4) за счет изменения вероятности q.

Для несимметричного канала применим то же планирование и анализ экспериментов, только вместо q надо взять вероятность $\overline{q}$, для которой достигается пропускная способность с канала, а оценка для числа экспериментов имеет вид $N > log_2(t\beta^{-1})(cln\overline{q})^{-1}$.

Литература:

[1]. Дж. Вольфовиц *Теоремы кодирования теории информации*. Москва, 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.

Анпилогов Александр Владимирович – заместитель начальника службы эксплуатации. E-mail: uaz031@yandex.ru.

А.Ш. Абдурахманов, А.К. Горбунов

НАИЛУЧШИЕ ОЦЕНКИ СВЕРХУ ДЛЯ ОСНОВНЫХ ПАРАМЕТРОВ ФИЗИЧЕСКИХ СИГНАЛОВ

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

В стохастической модели сигналов сохраняются принципиальные свойства: ограниченные 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: ограниченные 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 Φ_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:

$$u_T(t) = \sum_k \xi_k \psi_k(t), \tag{1}$$

где $\{\xi_k\}$ - случайные величины, $\{\psi_k(t)\}$ - неслучайные функции времени t.

Назовем подмножество N_0 из (1) базисными составляющими, если они:

1) в совокупности несут основную долю энергии S; 2) обладают двойной ортогональностью: ξ_κ некоррелированны, а $\psi_\kappa(t)$ ортогональны; 3) являются финитными функциями t, причем $T_k \le T$, где T_k - интервалы, в которых $\psi_k(t)$ отличны от нуля.

Рассмотрим два способа образования базисных составляющих:

1. последовательный, когда в (1)

$$\xi_k = \xi(k\tau_0), \tag{2}$$

где $\xi(k\tau_0)$ - значения S в точках, в которых средняя (по интервалу T) функция корреляции

$$\bar{R}_T(\tau)=\frac{1}{T}\int_T M\left\{u(t_1)u(t_2)\right\}dt_1 \quad , \tag{3}$$

где M - оператор математического ожидания, $\tau=t_2-t_1$ проходит через нуль, т.е. $\bar{R}_T(k\tau_0)=0$, $k=1,2,...,\mathrm{N}$, причем функции

$$\psi_k(t)=\begin{cases}\psi(t-k\tau_0), & (k-1)\tau_0\le t\le k\tau_0\\ 0 \quad , & \textit{при других } t;\end{cases} \tag{4}$$

2. одновременный, когда в (1)

$$\xi_k=\int_T u_T(t)\psi_k(t)dt \quad , \tag{5}$$

а $\psi_k(t)$ удовлетворяют интегральному уравнению

$$\lambda_k^2\psi_k(t)=\int_T R_T(t,t')\psi_k(t')dt' \quad , \tag{6}$$

где λ_k^2 и $\psi_k(t)$ - собственные значения и собственные функции (6), что соответствует (1) в виде разложения Карунена-Лоэна-Пугачева со сходимостью в ср.-кв.

Важнейшими параметрами сигналов представляются: 1) число базисных составляющих N_0; 2) коэффициент сосредоточения энергии в Δf_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

$$N_0\le\left[2T\Delta f_e\right], \tag{7}$$

где $[\quad]$ - 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 $\bar{R}_T(\tau)$:

$$\tau_{0\min}=\frac{1}{2\Delta f_e}\le\tau_0 \quad . \tag{8}$$

При одновременном образовании N_0 оценка (7) – асимптотическая и эффективно достигается при достаточно больших N_0 для сигналов со средней функцией корреляции

$$\bar{R}_T(\tau)=\begin{cases}\left(1-\frac{|\tau|}{T}\right)\cdot\frac{\sin 2\pi\Delta f_e\tau}{2\pi\Delta f_e\tau}, & |\tau|\le T,\\ 0 \quad , & |\tau|\ge T.\end{cases} \tag{9}$$

Коэффициент сосредоточения энергии имеет оценки:

1. при последовательном образовании N_0

$$K_e \le \lambda_1^2, \tag{10}$$

где λ_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

$$K_e \le \frac{1}{\pi x} \cdot \left\{ \mu\left[x(\beta+1)\right] - \mu\left[x(\beta-1)\right] \right\}, \tag{11}$$

где $x = 2\pi T \Delta f_\infty$, Δf_∞ - эффективная полоса частот при функции корреляции (9) для $T \to \infty$: $\mu(y) = \cos y + y \operatorname{Si} y - \ln y + \operatorname{Ci} y$, $\operatorname{Si} y$ и $\operatorname{Ci} y$ - соответственно интегральные синус и косинус: $\beta = \Delta f_e / \Delta f_\infty = \frac{\pi}{2} \cdot \frac{x}{x \operatorname{Si} x - \cos x - 1}$. Оценка (11) – асимптотическая и эффективно достигается при достаточно большом N_0 для сигналов со средней функцией корреляции (9).

Выводы.

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.

[1]. B.H.Bharucha, T.T.Kadota, On the representation of continuous parameter processes by a sequence of random variables, *IEEE Trans.*, 2010, IT-56, N2.

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.

Е.Б. Рыскина, А.К. Горбунов

НЕКОТОРЫЕ СВОЙСТВА Q-ИЧНЫХ КОДОВ.

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

Рассмотрим q-ичный линейный код (q – любое целое число, более 1) с порождающей матрицей $G=[\mathrm{I}\vdots\mathrm{C}]$, где I – единичная матрица размера $K\times K$, C – циркулянтная матрица $(K\times K)$, полученная циклическим сдвигом первой строки влево. Строка циркулянта состоит из нулей и единиц, причем номера ненулевых позиций образуют плоское совершенное разностное множество по модулю K. Все операции с символами кодовых слов производятся как с обычными целыми числами по модулю q. Очевидно, рассматриваемые коды являются подклассом биноидных кодов. Легко показать, что $d=1+W(\mathrm{c})$, где d – минимальное расстояние кода, $W(\mathrm{c})$ – вес Хэмминга строки циркулянта. Дальше рассматриваются только такие коды, для которых $(\mathrm{d}-2,\mathrm{q})=1$.

Слова кода представимы в виде $|a,b|$, где a – информационная часть, b – проверочная часть.

Лемма. Если $|a,b|$ – кодовое слово, то $\left|b,(\mathrm{d}-2)\cdot\mathrm{a}+\mathrm{z}\sum_{i=1}^{K}a_i\right|$ – кодовое слово, где z – единичный вектор.

Теорема 1. Первые элементы весового спектра имеют вид:

$$A_0=1;\ A_1=A_2=A_3=\ldots=A_{\alpha-1}=0;\ A_\alpha=(\mathrm{q}-1)\cdot K;\ A_{\alpha+1}=A_{\alpha+2}=\ldots=A_{2d-3}=0;$$

$$A_{2d-2}=2\cdot(q-1)(\frac{K}{2})+\mathrm{N}(\mathrm{d},\mathrm{g}),$$

где $N(d,g)=\begin{cases}0,\text{åñëè_q}-\text{í å÷åò í î å}\\(d-2)^5-(d-2)^2,\text{åñëè_q}-\text{÷åò í î å.}\end{cases}$

Подкод из слов, у которых сумма информационных символов сравнима с 0 по модулю ,q имеет минимальное расстояние $2\mathrm{d}-2$.

Назовем базовым декодером следующую последовательность операций.

Для каждого информационного символа вычисляется число неудовлетворенных проверок. Определяется, на сколько уменьшится это число, если значение информационного символа заменить на какое-либо другое. Эта характеристика вычисляется для всех информационных символов. Затем выбирается информационный символ, для которого достигается максимальное уменьшение числа неудовлетворенных проверок. Если это уменьшение равно 0 или 1, то декодирование заканчивается. В противном случае в данной информационной позиции производится замена имеюще-

гося символа на новый, обеспечивающий это максимальное уменьшение. Затем для скорректированного слова эта процедура повторяется и так делается не более L раз.

Пусть $|\varepsilon_1, \varepsilon_2|$ – предполагаемый вектор ошибок, полученный после последнего выполнения процедуры. Если сумма элементов вектора $|a + e_1 - \varepsilon_1|$ не сравнима с 0 по модулю q, то в качестве вектора ошибок берется сумма $|\varepsilon_1, \varepsilon_2|$ и скалярного кратного одной из строк матрицы G. Скалярное кратное выбирается таким, чтобы удовлетворялась проверка на сумму информационных символов, а номер строки из G выбирается из условия минимализации веса результирующего вектора ошибок. На этом работа базового декодера заканчивается.

На основе базового декодера строится составной декодер следующим образом.

Пусть из канала принято зашумленное кодовое слово $|a + e_1, b + e_2|$ с вектором ошибок $|e_1, e_2|$.

1. Принятую последовательность декодируем базовым декодером. Получаем $|\varepsilon_1^{(1)}, \varepsilon_2^{(1)}|$ предполагаемый вектор ошибок.

2. Формируем вектор $|b + e_2, (d-2)\cdot(a + e_1)| = |a' + e_2, b' + (d-2)e_1|$. Декодируем базовым декодером. Получаем $|\varepsilon_2^{(2)}, (d-2)\varepsilon_1^{(2)}|$ и, следовательно, $|\varepsilon_1^{(2)}, \varepsilon_2^{(2)}|$ - второй предполагаемый вектор ошибок.

3. Выбираем из двух векторов ошибок тот вектор, который имеет меньший вес.

Теорема 2. Составной алгоритм позволяет декодировать подкод, описанный в теореме 1, с исправлением любого вектора ошибок веса не более $d-2$, если L – параметр базового декодера равен $d-2$.

Увеличение L свыше $d-2$ дает весьма заметный эффект, тем больший, чем больше q. (Рассматривались каналы, для которых все ошибки одинакового веса равновероятны.)

Было проведено моделирование работы составного декодера на основе упрощенного порогового варианта базового декодера. Упрощенный вариант заключался в следующем. Для информационного символа вычислялась величина возможного уменьшения числа неудовлетворенных проверок и сравнивалась с порогом. Если порог превышался, то производилось исправление данного символа. Так делалось последовательно для всех информационных символов. Затем начинался новый просмотр всех информационных символов, но уже с другим порогом. Всего делалось $\left|\frac{d-1}{2}\right|$ просмотров. Пороги менялись от d -1.5 до 1,5 через 2 (Для четных d последние два порога -2,5; 1,5). Далее, аналогично исходному базовому декодеру, проводилась (если требовалась) коррекция полученного вектора ошибок.

Моделирование показало высокую эффективность пороговой модификации составного декодера. Не было найдено ни одного недекодируемого вектора ошибок веса $d-2$. С ростом q эффективность декодера увеличивалась. Например, моделирование декодера подкода длины 62 ($d=7$) показало, что при $q=2$ не декодируется около половины векторов ошибок веса 7, в то время как при $q=31$ доля недекодируемых ошибок веса 9 лежит около 10^{-3}, веса 10 – около 10^{-2}, веса 11 –около $8.5\cdot10^{-2}$.

Литература:

[1]. Таунсенд Р.Л., Велдон И.Дж. Собственно ортогональные квазициклические коды. Сб.: «Некоторые вопросы теории кодирования». Москва, Изд-во Мир, 1991, 36-67 с.

Рыскина Екатерина Борисовна – студент КФ МГТУ им. Н.Э. Баумана. E-mail: katerina.suise@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.

А.К. Горбунов, М.С. Филиппова

ОБЕЛЯЮЩИЕ ФИЛЬТРЫ

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

Рассматривается вначале случай дискретного времени, когда наблюдаемый процесс равен$y_k = \theta S(x_k, t_k) + \eta_k + \xi_k, \theta = 0,1,\ k = 0,1,..,n$.

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 ρ. Предполагается, что шум $\{\xi_k\}$статистически не зависит от процессов$\{x_k\}$и $\{\eta_k\}$. Между собой сигнал и помеха могут быть статистически зависимыми. Предполагается также, что

$$M\varphi_1(x_k, \eta_k < \infty\,,\quad M\varphi_0(\eta_k) < \infty,\ \ k = 0,1,..,n,$$

где $\varphi_\theta = \rho[y_k - \theta S(x_k, t_k) - \eta_k]$.

При этих условиях получаем для отношения правдоподобия $\Lambda_k = \frac{P(\frac{y_0^k}{\theta}=1)}{P(\frac{y_0^k}{\theta}=0)}$реккурентный алгоритм.

$$\Lambda_{k-1} = \frac{M_1\rho[S(x_k,t_k)-\eta_k]}{M_0\rho[y_k-\eta_k]}, k = 1,..,n, \qquad (1),$$

где M_1 и M_0 – условные математические ожидания:

$$M_\theta(\cdot) = \begin{cases} \iint (\cdot) p\left(x_n \dfrac{\eta_k}{y_0^{k-1}}, \theta = 1\right) dx_k d\eta_k \\ \int (\cdot) p(\dfrac{\eta_k}{y_0^{k-1}}, \theta = 0) d\eta_k. \end{cases}$$

Рассматривая случай слабых детерминированных сигналов (S→0), из (1) в асимптотике для $Z_k = C_k\theta_k$ получим

$$Z_{k-1} + S(t_k) f\left[y_k - \hat{\eta}_{0k}\left(y_0^{k-1}\right)\right],$$

где $f(x) = -\frac{d}{dx}\ln p(x), \hat{\eta}_{ok}(y_0^{k-1}) = M(\frac{\eta_k}{y_0^{k-1}}, \theta = 0)$.

Используя свойства условного математического ожидания, можно показать, что при $y_i = \eta_i + \xi_i, M\xi_i = 0, i = 0,1..$ справедливо соотношение $M\left[y_i - \hat{\eta}_{oi}\left(y_0^{i-1}\right)\right]\left[y_i - \hat{\eta}_{oj}\left(y_0^{i-1}\right)\right] = 0$ для всех $i \neq j$.

Таким образом, входное устройство обнаружителя слабых сигналов, вычисляющее разность $y_k - \hat{\eta}_{0k}(y_0^{k-1})$, представляет собойдекоррелирующий фильтр. После него следует безынерционный нелинейный преобразователь $f(x)$, а затем обычный корреляционный приемник.

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 статистически зависимыми между собой. Что же касается шума $\{\xi_t\}$, то здесь он предполагается белым гауссовским шумом (спектральная плотность равна N).

Конкретизируя ρ в (1) и осуществляя затем предельный переход, получим алгоритм для логарифма отношения правдоподобия z_t, $0 \le t \le T$

$$Z_T = \frac{1}{n}\int_0^T (\hat{S}_t + \hat{\eta}_{1t} - \hat{\eta}_{0t}) y_t d_t - \frac{1}{2N}\int_0^T [(\hat{S}_t + \hat{\eta}_{1t})^2 - \hat{\eta}_{0t}^2]\, dt\,, \qquad (3)$$

где $\hat{S}_t = M\left[\frac{S(x_t,t)}{y_0^t}, \theta = 1\right]$,$\hat{\eta}_{it} = M(\frac{\eta_t}{y_0^t}, \theta = i)$, i=0,1.., а стохастический интеграл понимается в смысле Ито.

В случае слабых детерминированных сигналов из (3) (или из (2) после конкретизации ρ) вытекает алгоритм $Z_t = \frac{1}{N}\int_0^T S(t)(y_t - \hat{\eta}_{ot})dt$ 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.

Процедура обеления помехи, наличие на входе устройства обнаружения обеляющего фильтра имеют место и без требования малости сигнала. Рассмотрим вначале случай обнаружения детерминированного сигнала $S(t)$ вгуассовскойпомехе (с произвольной корреляционной функцией) при наличии белого шума.

В этом случае

$$\hat{\eta}_{1t}(y_0^t) = \hat{\eta}_{0t}(y_0^t - S_0^t) = \hat{\eta}_{0t}(y_0^t) - \hat{\eta}_{0t}(S_0^t) \qquad (4)$$

Подставляя (4) в (3), получим алгоритм $Z_t = \frac{1}{N}\int_0^T \tilde{S}_t\, \tilde{y}_t dt - \frac{1}{2N}\int_0^T \tilde{S}_t^2 dt,$ (5)

$\tilde{S}_t = S(t) - \hat{\eta}_{0t}(S_0^t), \tilde{y}_t = y_t - \hat{\eta}_{0t}(y_0^t)$, определяющий оптимальный обнаружитель детерминированного сигнала $\tilde{S}(t)$ в белом шуме.

Преобразуя (3) применительно к общей задаче, придем к формуле (5), при этом функционал $\tilde{S}_t$ будет уже случайным $\tilde{S}_t(y_0^t) = \hat{S}_t(y_0^t + \hat{\eta}_{1t}(y_0^t) - \hat{\eta}_{0t}(y_0^t)$.

Необходимость использования декоррелирующих и обеляющих фильтров и сама структура обнаружителя непосредственно следуют из рассматриваемого метода, причем привлекать искусственные приемы здесь не потребовалось. В частности, не понадобилось искусственно вводить в схему обработки сигналов обещающий фильтр.

Литература:

[1]. Липцер Р.Ш., Ширяев А.Н. Статистика случайных процессов, М.Наука, 1993, 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.

Филиппова Маргарита Сергеевна – студент КФ МГТУ им. Н.Э. Баумана. E-mail: margarita.filippowa.mgtu@yandex.ru.

А.К. Горбунов, А.Ш. Абдурахманов

ОПТИМАЛЬНОЕ ДЕКВАНТОВАНИЕ

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

В специальном случае гауссовских распределений вероятностей и квадратичной функции штрафов доказывается оптимальность одного частного алгоритма оценки некоммутирующихвелечин, основанного на идеальном квазиизмерении.

Задача отыскания оптимального деквантования сводится к минимизации квантового риска

$$R = Tr\int r(u)\Pi du \tag{1}$$

по операторной мере $\Pi(du)$,удовлетворяющей условию нормировки

$$\int \Pi(du) = 1 \tag{2}$$

В выражении (1):

$$r(u) = \int c(x,u)\rho(x)P(dx),$$

где $c(x,u)$- функция штрафов; $\rho(x)$ - матрица плотности; $P(dx)$- распределение вероятностей неквантовых информационных параметров на выходе канала связи.

При этом в случае гауссовских $\rho(x), P(dx)$ и квадратичной $c(x,u)$ удается показать, что оператор $\Pi(du)$, доставляющий экстремум выражению (1), имеет следующий вид:

$$\Pi(du) = \varphi_u \varphi_u^x du, \tag{3}$$

где

$$\varphi_u = \pi^{-s/2} \det A^{-1} \exp\left\{-\frac{1}{2}u^x\left(A^x\right)^{-1}A^{-1}u + a^x A^{-1}u\right\}\psi_0. \tag{4}$$

Здесь $a^x = \left(a_1^x,\ldots,a_s^x\right)$- операторы рождения кванта; $u^x = \left(u_1^x,\ldots,u_s^x\right)$ - комплексные числа; ψ_0- вакуумная волновая функция; A- числовая матрица, которую целесообразно выбрать по формуле (9).

С учетом (3) исходная экстремальная задача запишется следующим образом:

$$\int \varphi_u^x r(u)\varphi_u du = \min_{\varphi_u}. \tag{5}$$

Для доказательства того, что функции (4) доставляют выражению (5) минимум, докажем справедливость следующего неравенства:

$$\int \varphi_u^x r(u)\varphi_u du \le \int \varphi_u^x r(u)\tilde{\varphi}_u du, \tag{6}$$

где функции φ_u произвольны.

Рассчитаем прежде всего риск $r(u)$ в квадратично–гауссовском случае:

$$r(u)=\int(x-u)^x(x-u)\frac{1}{\det 2L}\mathrm{N}exp\left\{-\frac{1}{2}(a-x)^x L^{-1}(a-x)\right\}\cdot$$

$$\cdot\frac{1}{\det 2\pi K}\exp\left\{-\frac{1}{2}x^x K^{-1}x\right\}, \qquad (7)$$

где символ N обозначает нормальное упорядочение операторов; K- корреляционная матрица переменных x;L – положительно определенная числовая матрица.

Производя в (7) интегрирование, получим:

$$r(u)=2\rho TrB+(u-Aa)^x\rho(u-Aa), \qquad (8)$$

где

$$\rho=\int\rho(x)P(dx)=\frac{1}{\det 2(K+L)}N\exp\left\{-\frac{1}{2}a^x(K+L)^{-1}a\right\};$$

$$B=\left(K^{-1}+L^{-1}\right)^{-1};$$

$$A=K(K+L)^{-1}. \qquad (9)$$

Подставляя полученное выражение (8) в исходное неравенство (6), имеем:

$$\int\varphi_u^x\left[2\rho TrB+(u-Aa)^x\rho(u-Aa)\right]\varphi_u du\le$$

$$\le\int\tilde{\varphi}_u^x\left[2\rho TrB+(u-Aa)^x\rho(u-Aa)\right]\tilde{\varphi}_u du.$$

Учитывая теперь, что имеет место $a\varphi_u=A^{-1}u\varphi_u$, а также используя условие нормировки (2), получим неравенство:

$$\int\tilde{\varphi}_u^x(u-Aa)^x\rho(u-Aa)\tilde{\varphi}_u du\ge 0,$$

найденное А.Г.Ванцяном.

Это неравенство очевидно вследствие положительной определенности оператора ρ. Отсюда следует справедливость исходного неравенства (6). Таким образом показано, что никакая другая функция не может сделать выражения (5) меньше чем функция (4).

Литература

[1]. Хелстром К., Лиу Дж., Гордон Дж. Квантомеханическая теория связи. Труды Института инженеров по электротехнике и радиотехнике, тематический выпуск "Оптическая связь",1990, т.78№2, с. 186-207.

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

М.Л. Прокофьев, А.К. Горбунов

ОПТИМАЛЬНЫЕ ИЗМЕРЕНИЯ ПАРАМЕТРОВ КВАНТОВЫХ СИГНАЛОВ

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

Сформулированы общие условия оптимальности квантового измерения. С их помощью найдено оптимальное байесовское измерение параметров гауссовского состояния. Указано наилучшее несмещенное измерение этих параметров.

В последние годы определённый 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.) $\{\rho_\theta\}$, $\theta \in \Theta$ в некотором гильбертовом пространстве H. Задается априорное распределение $\pi(d\theta)$и функция потерь $W_\theta(x); x, \theta \in \Theta$. Если $M(dx)$ –Θ-измерение в смысле [2], то ему отвечает байесовский риск

$$R_\pi(M) = T_r \int K(x) M(dx), \tag{1}$$

где $K(x) = \int W_\theta(x) \rho_\theta \pi(d\theta)$ [2].

<u>Предложение 1.</u>Если $\Lambda = \int K(x) M(dx)$ эрмитов и $K(x) \geq \Lambda$, $x \in \Theta$, то M– оптимальное байесовское измерение. Если M оптимально и существуют производные $\delta K / \delta x_i$, то

$$\sqrt{M(dx)} \cdot \frac{\delta K}{\delta x_i} \cdot \sqrt{M(dx)} \equiv 0.$$

Пусть H – пространство неприводимого представления p, qсоотношения коммутации $qp - pq = i$,и p_0 –о.п. вH.Положим $V(x, y) = \exp i(px + qy)$и$\rho_{x,y} = V(-y, x) p_0 V(-y, x)^*$. (Если ρ_0 –о.п. фоковского состояния, то $\rho_{x,y} = P(x, y)$ – о.п. когерентных состояний.

<u>Предложение 2.</u>Соотношение

$$M(dxdy) = \frac{1}{2\pi} \rho_{x,y} dxdy \tag{2}$$

определяетR^2-измерение.

Пусть H_0 – пространство другого неприводимого представления p_0, q_0, $\tilde{p}_0$ – о.п. на H_0, однозначно определяемый соотношением $T_r \tilde{p}_0 V_0(x, y) = T_r p_0 V(-x, y)$, а $E(dxdy)$–совместное спектральное расположение операторов

$$\tilde{p} = p \otimes I + I \otimes p_0, \tilde{q} = q \otimes I + I \otimes q_0. \tag{3}$$

Тогда $\left(H_0, \tilde{p}_0, E(\cdot)\right)$ является реализацией измерения (2).

Пусть $\{p_{\alpha,\beta}\}, (\alpha,\beta) \in R^2$–семейство гауссовскихо.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 на R^2 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 (α,β) при функции потерь $W_{\alpha,\beta}(x,y) = (x-\alpha)^2 + (y-\beta)^2$.

Байесовский риск задается формулой (1), где

$$K(x,y) = (x^2 + y^2)\rho - 2\frac{s^2}{s^2 + \sigma^2}(xp_0\rho + yq_0\rho) + K_0,$$

причем $T_r pV(x,y) = \exp\left[-\frac{s^2+\sigma^2}{2}(x^2 + y^2)\right]$.

<u>Предложение 3.</u> Оптимальное байесовское измерение параметров (α,β)дается формулой

$$M(dxdy) = \frac{1}{2\pi c^2} P\left(\frac{x}{c}, \frac{y}{c}\right) dxdy \tag{4}$$

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 α,β являются

$$c\tilde{p}, c\tilde{q}, \tag{3}$$

где p_0, q_0 описывают независимую систему в фоковском состоянии.

Измерение $M(dxdy)$ назовем несмещенным, если

$$T_r p_{\alpha,\beta}\left(\int xM(dxdy)\right) = \alpha, \quad T_r p_{\alpha,\beta}\left(\int yM(dxdy)\right) = \beta,$$

для всех (α,β). Введем среднеквадратичную потерю

$$R_{\alpha,\beta}(M) = T_r p_{\alpha,\beta}\left[\int ((x-\alpha)^2 + (y-\beta)^2)M(dxdy)\right].$$

<u>Предложение 4.</u> Для любых (α,β)

$$\min_M R_{\alpha,\beta}(M) = 2\sigma^2 + 1,$$

Причем минимум достигается на изменении (4) при с=1, т.е. наилучшими несмещенными оценками для (α,β) являются (3), где p_0, q_0 описывают независимую систему в фоковском расстоянии.

Список литературы

[1]. Дж. Клаудер*Основы квантовой оптики.*Мир.,М., 1992.

Прокофьев Михаил Львович – студент КФ МГТУ им. Н.Э. Баумана. E-mail: shinoda25px@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.

А.К. Горбунов, Ю.В. Корабельникова

ОЦЕНИВАНИЕ ИНФОРМАЦИОННЫХ ФУНКЦИОНАЛОВ

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

Отмечается алгоритмическая общность точечного оценивания и вычисления тестовых статистик при непараметрической постановке задач. Сравниваются известный и новый метод непараметрического оценивания нелинейных функционалов. Указывается на существование нового класса асимптотически оптимальных непараметрических тестов.

1 Статическое использование информационных функционалов. Практическое использование оценок информационных функционалов может преследовать одну из двух целей. Первая состоит в том, чтобы использовать эти оценки для измерения определенных характеристик информационных систем (энтропия, шэнноновское и фишеровское количества информации и т.п.). Этой цели соответствует статистическая задача оценки параметров. Вторая цель – использовать различие тех или иных функционалов при разных распределениях для проверки гипотез. Учитывая, что всякая тестовая статистика есть оценка некоторого функционала, можно усмотреть много общих статистических проблем для обоих случаев. В непараметрической постановке это родство проявляется еще сильнее, т.к. при этом вообще исчезает различие между оцениванием функционала и вычислением тестовой статистики.

2 Два типа непараметрических оценок нелинейных функционалов. Ряд функционалов информационного типа имеет вид

$$J = \int F\left[g(x), g'(x), \ldots\right] g(x)\,dx, \tag{1}$$

где F – известная функция, g – плотность, которая в непараметрическом случае считается неизвестной. Существует два способа получения непараметрических оценок функционалов такого типа. Первый состоит в непосредственной подстановке в (1) непараметрических оценок плотности и ее производных и выполнения интегрирования (будем называть такие оценки «прямыми»). Второй способ сводиться к подстановке непараметрических оценок плотности и ее производных только в функцию F и дальнейшему построению соответствующих U – статистик (результирующие оценки будем называть «квази – U – статистиками»). Использование различных типов непараметрических оценок плотности порождает разные классы оценок функционалов. Их исследование приводит к следующим результатам.

Если используются оценки плотности и ее производных, введенные Розенблаттом, Парзеном и Бхаттачарья, то и прямые оценки, и квази – U – статистики являются асимптотически несмещенными и сходящимися к J в среднеквадратическом: кроме того, доказана их сходимость с вероятно-

стью единица. Сравнение этих оценок показывает, что квази – U – статистики обладают преимуществами перед прямыми оценками:

а) хотя обе они асимптотически несмещенны, смещение квази – U – статистик всегда меньше смещения прямой оценки;

б) хотя асимптотически дисперсии обеих оценок имеют порядок CN^{-1}, константа C, зависящая от вида J, для квази – U – статистик меньше;

в) квази – U – статистики более удобны при вычислениях, т.к. имеют простую аддитивную структуру и не требуют выполнения интегральных операций, необходимых для получения прямых оценок.

При пользовании такими непараметрическими оценками плотности, как гистограмма или полиграмма (что возможно при отсутствии производных в F), прямые оценки и квази – U – статистики асимптотически эквивалентны. Основные свойства таких оценок:

а) оценки на гистограмме хотя и имеют стремящуюся к нулю дисперсию, обладают смещением, зависящим от неизвестного распределения;

б) оценки на полиграмме, в зависимости от вида функции F, либо являются асимптотически нормальными, $N(A, CN^{-1})$, где A – смещение, зависящее от вида функционала, $C<\infty$, либо подчинены распределению, не обладающему конечными моментами.

3 Класс тестов, порождаемый непосредственным оцениванием рангового отношения правдоподобия. Благодаря ряду положительных качеств ранговых тестов (непараметричность по уровню значимости, робастность по мощности, асимптотическая оптимальность при определенных условиях, простота вычисления тестовых статистик), они привлекают большое внимание теоретиков и экспериментаторов. К сожалению, оптимальные ранговые тесты в большинстве случаев построить не удается из-за чисто технической трудности вычисления вероятности рангового вектора при альтернативе. Основные достижения теории ранговых тестов получены путем рассмотрения локально наиболее мощных тестов, порождаемых первым членом в разложении рангового отношения правдоподобия в ряд Тейлора. До сих пор почему-то оставался вне поля зрения прямой путь получения тестов за счет непосредственного оценивания рангового отношения правдоподобия. Продемонстрируем такую возможность на примере одновыборочной задачи. Ранговое отношение правдоподобия в этом случае запишем как

$$L\left(\{R_i\}\right) = N!\int_I dG\left(x_1,\ldots,x_N\right),$$

где G – альтернативное распределение, I – область значений в X^N, соответствующая данному ранговому вектору $\{R_i\}$. Пользуясь понятием антиранга, конкретизируем I:

$$L\left(\{R_i\}\right) = \int_{-\infty}^{\infty}\int_{x_{d_1}}^{\infty}\ldots\int_{x_{d_{N-1}}}^{\infty} dG\left(x_1,\ldots,x_N\right) = \int_{x^N}\prod_{R=1}^{N} C\left(x_{d_R} - x_{d_{R-1}}\right) dG\left(x_1,\ldots,x_N\right).$$

Здесь d_R – антиранг, $C(t)=\{I:t\geq 0;\ 0:t<0\}$, интегрирование в последнем интеграле ведется по всему пространству X^N. Последнее выражение является функционалом, допускающим непараметрическое оценивание (в частности, U - статистической). Всякая состоятельная оценка этого функционала будет порождать соответствующий тест. При непараметрическом оценивании тест будет обладать большой универсальностью, однако, его мощностные свойства подлежат дальнейшему исследованию [1].

Литература

[1]. Галлагер Р. *Теория информации и надежная связь*, Москва, Изд-во «Мир», 1974, с. 73-76.

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.

А.К. Горбунов, А.В. Анпилогов

ОЦЕНКА ВЕРОЯТНОСТИ ПЕРЕДАЧИ ИНФОРМАЦИИ

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

Производится расчет распределения вероятностей времени передачи сообщения в системе с переспросом и возвращением. Расчеты ведутся по модели, основанной на цепях Маркова.

При расчетах 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 расчеты обычно удобнее вести на основе матричных производящих функций, которые довольно просто позволяют получать рекуррентные, приближенные и асимптотические формулы. Покажем это путем расчета распределения времени передачи сообщения в системе связи с переспросом и возвращением [1].

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 подтверждения может служить передача кодовой, а сигналом переспроса – некодовой комбинации). Комбинации, в которых имеется сигнал подтверждения, содержат также информацию, защищенную кодом с обнаружением ошибок. Комбинации, в которых имеется сигнал переспроса, другой информации не содержат. Примем время передачи комбинации длины n за единицу. При получении комбинации с переспросом, либо при обнаружении ошибок, эта 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 передается очередная комбинация с сигналом подтверждения.

По этой системе передаются сообщения, кодируемые в K комбинации. Если в сообщении обнаружены ошибки, то время L, необходимое для его передачи при отсутствии переспросов, увеличивается на величину γM, где γ – случайная величина, равная числу переспросов комбинаций рассматриваемого сообщения, пока все они не будут приняты без обнаруженных ошибок. Наша цель – найти распределение p(γ) вероятностей того, что время передачи сообщение равно $L + \gamma M = T_\gamma$. В настоящей работе расчеты 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 переход-

ных вероятностей P и матрицами $\varepsilon_m = diag\{\varepsilon_{\mathfrak{J}}\}, m = 1{,}2$ 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 i 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

$$G \approx \prod_{m=1}^{2}\{P_{mn}(0) + [P^n - P_{mn}(t < d_m)]2^{-r_m}\}(1),$$

где r_m – число проверенных символов, d_m – кодовое расстояние кода, используемого в m-м канале, где

$$P_{mn}(t < d) = \sum_{t=0}^{d_m - 1} P_{mn}(t)(2)$$

матрицы $P_{mn}(t)$ имеют производящую функцию

$$\Phi_{mn}(z) = \sum_{t=0}^{n} P_{mn}(t)z^t = (A_m + B_m z)^n(3)$$

где $A_m = P(E - \varepsilon_m)$, $B_m = P\varepsilon_m$. Из предыдущей формулы следует, что матрицы $P_{mn}(t)$ удовлетворят соотношениям

$$P_{mn}(t) = \sum_{t_i} P_{mn_1}(t_1)P_{m,n-n_1}(t - t_1)(4),$$

которые удобно использовать для расчетов на ЭВМ.

Если матрицы A_1, A_2 примитивные, то при $n \to \infty$ справедливы асимптотические формулы

$$P_{mn}(t)\left[-\Delta_m'(z_{m_1})\right]^{-t-1} C_m(z_{m_1})\left[B_m C_m(z_{m_1})\right]^t z_{m_1}{}^{-n-1}(5)$$

где z_{m1} – наименьший по модулю корень многочлена $\Delta_m(z) = det(E - zA_m)$, $C_m(z)$ – матрица, присоединенная к $E\text{-}A_m z$.

Обозначим через $\mathcal{P}(\gamma;К)$ матричную вероятность того, что время передачи сообщения из К блоков равно T_γ, т.е. матрицу, (i, j)-й элемент которой представляет собой вероятность перехода цепи Маркова из состояния на позицию t_0, предшествующей передаче рассматриваемого сообщения в состояние j на позиции $nT_\gamma + t_0$ и при этом время передачи сообщения равно T_γ. Можно показать, что матрицы $\mathcal{P}(\gamma, К)$ имеют производящую функцию вида:

$$\Psi(z) = \sum_{\gamma=0}^{\infty} P(\gamma; К)\, z^\gamma = [(E - GR^{M-1}z)^{-1}H]^K(6)$$

где $R = P^n, H = R - G$. Из этой формулы следуют соотношения

$$P(\gamma; К) = \sum_{\gamma_i} P(\gamma_1; К_1)\, P(\gamma - \gamma_1; К - K_1)(7)$$

и, в случае, когда матрица G примитивная, получаем асимптотические оценки.

−Δ(z1)]−K} {left [B({z} rsub {1})H right]} ^ {K} {{γ} ^ {K−1}} over {left (K−1 right) !} {z} rsub {1} rsup {−γ}γ;K,

где z_1 – наименьший по модулю корень многочлена $\Delta(z) = det(E - Gz)$, $B(z)$ – матрица, присоединенная к E-Gz.

Интересующее нас распределение $P(\gamma)$ вероятностей того, что время передачи сообщения составит T_γ, определяется по формуле

$$P(\gamma) = P_0 P(\gamma; К)I$$

где P_0 - матрица-строка начальных вероятностей, I – матрица столбец из единиц.

В заключение отметим, что предлагаемые методы расчета и найденные выше матрицы могут быть использованы для оценки многих распределений, характеризующих вероятность 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, …, n_v первого канала возникает t_1, t_2, …, t_v ошибок, может быть найдена по формуле

$$P_{n1,n2,\dots,nv}(t_1, t_2, \dots, t_v) = P_0 P_{1n1}(t_1) P_{1n2}(t_2) \dots P_{1nv}(t_\gamma) I$$

где матрицы $P_{1n}(t)$, P_0, I определены выше.

Литература:

[1]. Дж. Вольфовиц *Теоремы кодирования теории информации*. Москва, 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.

Анпилогов Александр Владимирович – заместитель начальника службы эксплуатации. E-mail: uaz031@yandex.ru.

А.А. Кузнецова, А.К. Горбунов

ОЦЕНКА ДИСКРЕТНЫХ ПОСЛЕДОВАТЕЛЬНОСТЕЙ

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

Обычно цифровые данные, передаваемые по каналу связи, содержат последовательности отсчетов $X_n = x_1, x_2, \dots, x_n$, где каждый x_i принадлежит подмножеству $G(x_{i-1}, x_{i-2}, \dots, x_{i-s}) = G\left(X_s^{(i)}\right)$, $i = \overline{s+1, n}$ всего подмножества 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 $Y_n = X_n + E_n$, где E_n - вектор ошибок. Любой "сбой" $\theta_t \left(y_t \in \bar{G}(y_{t-1}, y_{t-2}, \dots, y_{t-s}) = \bar{G}\left(Y_s^{(t)}\right)\right)$ 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 $d(X_n^*, Y_n) = min\, d(X_n', Y_n)$, где d - расстояние Хэмминга, а минимум берется по всем X_n', удовлетворяющим заданным ограничениям. Тогда $En^* = Y_n - X_n^*$ - "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 $E^*(d)$) заключены в "зоне восстановления" $L(c, sd - \alpha)$, где c и $\alpha \geq (s-1)/2$ определяется видом совокупности сбоев и связностью s и не зависят от d. Для одиночного сбоя θ_t $c = t - s/2$, $\alpha = (s-1)/2$.

Теорема 2. Если $E_{k-1}^*(d_{k-1})$ и $E_k^*(d_k)$ – "изолированные" решения минимального веса относительно $(k-1)$ – той и k – той совокупностей сбоев, $L(c_{k-1}, sd_{k-1} - \alpha_{k-1})$ и $L(c_k, sd_k - \alpha_k)$ соответствующие зоны восстановления и $R(d_{k-1}, d_k) = (c_k + sd_k - \alpha_k) - (c_{k-1} + sd_{k-1} - \alpha_{k-1}) \geq s$, $w < w_0$ о $E_n^* = E_{k-1}^* + E_k^*$ - общее решение минимального веса.

Таким образом, для определения d_k и E_k^* достаточно последовательно искать решение веса $w = w_0, w_0 + 1, \dots$ в зоне восстановления $L(c_k, sw - \alpha_k)$, все время контролируя $R(d_{k-1}, w)$. Здесь w_0 - наименьший вес реше-

ния, 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 $w < w_0$ $(0 \le R(d_{k-1}, w_0) \le s-1)$ не найдено $E^*_{k-1}(w)$, 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 $L[c, s(d_{k-1} + w_0) - \alpha]$, где $c = c_k - (sd_{k-1} - \alpha_{k-1}) - {}^1/_2\, R(d_{k-1}, w_0)$,

$\alpha = \alpha_{k-1} + \alpha_k - {}^1/_2\, R(d_{k-1}, w_0)$.

Теорема 4. Захват зоной восстановления $L(c_k, sw - \alpha_k)$ еще не рассматривавшего сбоя θ_t, $0 \le t - (c_k + sw - \alpha_k) \le s$, не требует изменения c_k и α_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 α известны (см. теорему 1), теоремы 3 и 4 полностью определяют правила нахождения этих параметров.

Алгоритм построения E^*_n. Пусть $\alpha \to \beta$ означает замену β на α, $\varphi(\alpha{:}\,\beta) = 1$, если $\alpha > \beta$, и $\varphi(\alpha{:}\,\beta) = 0$ если $\alpha \le \beta$. Сформулируем алгоритм построения E^*_n.

<1> $s \to i$, $0 \to k$, c_k, α_k, d_k и переход к <2>;

<2> $k + 1 \to k$ и переход к <3>;

<3> $i + 1 \to i$ и проверка условия $y_i \in G\left(Y_s^{(i)}\right)$ в отсутствии сбоя переход к <3>, в противном случае – к <4>;

<4> $i - {}^s/_2 \to c_k$, $(s-1)\,/\,2 \to \alpha_k$, $1 \to w$ и переход к <5>;

<5> $R(d_{k-1}, w){:}\,(s-1)$. Если $\varphi = 1$ – переход к <6>, если $\varphi = 0$ – r <9>;

<6> поиск $E^*_n(w)$ в $L(c_k, sw - \alpha_k)$. Если E^*_k найдено – переход к <7>, если нет – к <8>;

<7> $w \to d_k$, $c_k + sd_k - \alpha_k + 1 \to i$ и переход к <2>;

<8> $w + 1 \to w$ и переход к <5>;

<9> отказ от $E^*_{k-1}(d_{k-1})$ и объединение зон:

$$c_k - (sd_{k-1} - \alpha_{k-1}) - {}^1/_2\, R(d_{k-1}, w) \to c_{k-1},$$

$$\alpha_{k-1} + \alpha_k - {}^1/_2\, R\left(d_{k_{-1}}, w\right) \to \alpha_{k-1},$$

$\alpha_{k_{-1}} + w \to w$, $k - 1 \to k$ 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 $a_{ux} = 1$, если $(x_i = x) \in \left(X_s^{(i)} = u\right)$, и $a_{ux} = o$ в противном случае. Сбой между $y_i = x$ и $Y_s^{(i)} = u$ имеет место в том и только в том случае, когда $a_{ux} = 0$.

Для построения $E_{(w)}^*$ в $L(c, sw-\alpha)$ используем алгоритм Витерби. Для этого построим таблицу с элементами

$$d_{i+1}(U) = \frac{1}{a_{ux}}\left[d(x, y_{i+1}) + \min_u d_i(u)\right],$$

$\overline{\overline{i} = c - sw + \alpha, c + sw - \alpha}$, $u = u_1, u_2, \dots, u_s$, $v = u_2, u_3, \dots, u_s$, $X\left(u_j = \overline{1, N}\right.$, $j=1,s$ и принять min $udc-sw+au=0$. Тогда $w*=dc+r+1x=yc+r+1$ – минимальный вес решения в $L(c, r)$, где $r = sw - \alpha$. 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 v последних столбцов, то потребуется многократное воспроизведение $2r$, $2r - s - v + 1$, $2r - s - 2v + 1$, … столбцов этой таблицы при $w^* = w = d$. Тогда требуемый объем памяти составляет

$$S = mvN^s + N^{s+1} \text{ бит}$$

(на запоминание столбцов матрицы A), а среднее число элементарных арифметических операций, необходимых для восстановления одного отсчета

$$\bar{C} < \gamma_1 N^h m\varepsilon + \gamma_2 n N^h m^2 \varepsilon^2 ,$$

где ε – вероятность искажения одного символа, $s \le h \le s + 1$, γ_1 и γ_2 – вычислительные константы. Простые рассуждения показывают, что на самом деле $\bar{C}$ практически не зависит от n, и в полученном выше выражении зависимость от n обусловлена грубым методом получения оценки.

Литература:

[1]. Клейнрок Л. *Коммуникационные сети.* М., «Наука», 1989.

Кузнецова Анна Андреевна – студент КФ МГТУ им. Н.Э. Баумана. E-mail: 521annakuznetsova@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.

УДК 621.391

А.К. Горбунов, Е. А. Коваленко

ПАРАМЕТРЫ И ХАРАКТЕРИСТИКИ ИЗЛУЧАТЕЛЕЙ В ОБЛАСТИ ОТРАЖЕННОГО ИЗЛУЧЕНИЯ

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

Создать единую систему параметров и характеристик излучателей невозможно из-за многообразия их типов. Однако можно указать наиболее общие параметры и характеристики, применяемые для описания излучения многих источников. К таким параметрам и характеристикам относятся прежде всего энергетические и фотометрические величины и их спектральные плотности.

Природные образования являются источниками как отраженного, так и собственного излучения, причем области собственного и отраженного излучения представляется возможным разделить. Границей этих областей обычно считают длину волны 3,5 мкм. Излучение в каждой из этих областей описывается специфическими параметрами и характеристиками. Рассмотрим вначале эти параметры и характеристики в области отраженного излучения.

Отражение от объекта во многом определяется структурой его поверхности. В соответствии с этим разделяют следующие типы поверхностей: ортотропные, зеркальные, антизеркальные и комбинированные.

Ортотропные (диффузные) поверхности равномерно рассеивают падающий поток. Примерами диффузных поверхностей являются песок, рыхлый снег.

Зеркальные поверхности отражают падающее излучение под углом падения и, как правило, в плоскости, определяемой нормалью к точке падения и падающим лучам. К зеркальным поверхностям относят чистый лед, обнаженный скальный грунт.

Антизеркальные поверхности большую часть падающего потока отражают в направлении к источнику излучения. Таким отражением обладают сельскохозяйственные культуры, многие типы растительности.

Комбинированные поверхности обладают как зеркальным, так и антизеркальным отражением. Такое отражение свойственно, например, рисовым полям, покрытым росой лугам.

Свяжем с элементом отражающей поверхности пространственные угловые координаты (рисунок 1), в которых определим угол падения солнечного излучения θ_0, азимутальный угол направления падения φ_0, отсчитанный от некоторого нулевого направления, и соответствующие углы θ и φ отраженного излучения.

Наиболее общей характеристикой, описывающей отражательные свойства поверхности, является функция распределения двунаправленного отражения:

$$R(\lambda,\varphi_0,\theta_0,\varphi,\theta)=\frac{L(\lambda,\varphi_0,\theta_0,\varphi,\theta)}{E(\lambda,\varphi_0,\theta_0,\varphi,\theta)},$$

где L – энергетическая яркость элемента поверхности, взятая в узком спектральном диапазоне ($\lambda+\Delta\lambda$), зависящая от параметров в скобках; E – энергетическая облученность, создаваемая падающим потоком, зависящим от тех же параметров.

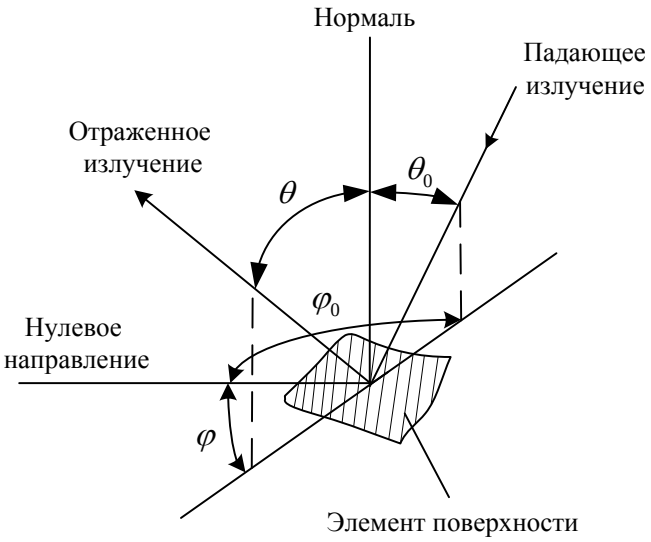


Рисунок 1. Угловые координаты падающего и отраженного излучений

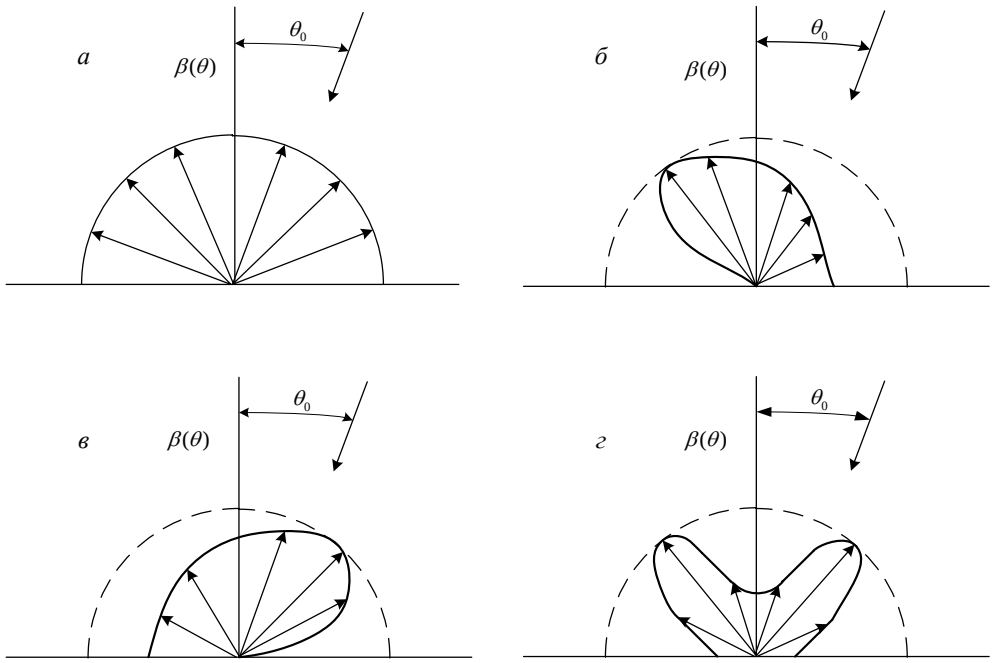


Рисунок 2. Индикатрисы отражения поверхностей: а – ортотропная; б – зеркальная; в – антизеркальная; г – комбинированная

Измерение $R(\lambda,\varphi_0,\theta_0,\varphi,\theta)$ имеет известные сложности, связанные прежде всего с оценкой $E(\lambda,\varphi_0,\theta_0,\varphi,\theta)$. На практике часто используют другие характеристики и параметры отражающих поверхностей, измерить которые проще и которые при определенных условиях связаны с функцией распределения двунаправленного отражения.

Для описания относительного углового распределения яркости отраженного от объекта солнечного излучения используют индикатрису отражения

$$\beta(\lambda,\varphi_0,\theta_0,\varphi,\theta)=\frac{L(\lambda,\varphi_0,\theta_0,\varphi,\theta)}{L_M(\lambda,\varphi_0,\theta_0,\varphi,\theta)},$$

где $L_M(\lambda,\varphi_0,\theta_0,\varphi,\theta)$ - максимальное значение функции $L(\lambda,\varphi_0,\theta_0,\varphi,\theta)$.

Виды индикатрисы отражения указанных типов приведены на рисунке 2. Индикатриса отражения диффузной поверхности имеет вид полусферы (в плоскости рисунка 2 это полуокружность) единичного радиуса. Угол θ-текущий.

Зависимость яркости природного образования, даваемой отраженным солнечным излучением, от освещенности при заданных условиях освещения (углах θ_0 и φ_0) определяется с помощью спектрального коэффициента отражения:

$$r(\lambda,\varphi_0,\theta_0,\varphi,\theta)=\frac{L(\lambda,\varphi_0,\theta_0,\varphi,\theta)}{L_{Ä}(\lambda,\varphi_0,\theta_0)}, \qquad (1)$$

где $L_{Ä}(\lambda,\varphi_0,\theta_0)$ - яркость идеальной диффузии (ортотропной) полностью отражающей поверхности, находящейся в тех условиях освещения, что и объект. Потерь потока при отражении не происходит, поэтому для этой поверхности $M_e=E_e$.

Энергетическая яркость ортотропной (диффузной) поверхности, как уже отмечалось, одинакова во всех направлениях:

$$L_e=M_e/\pi.$$

Тогда при $M_e=E_e$ яркость диффузной поверхности $L_e=E_e/\pi$, поэтому яркость отражающего объекта определяется из формулы (1) как $L(\lambda,\varphi_0,\theta_0,\varphi,\theta)=r(\lambda,\varphi_0,\theta_0,\varphi,\theta)E/\pi$, при этом: $R(\lambda,\varphi_0,\theta_0,\varphi,\theta)=r(\lambda,\varphi_0,\theta_0,\varphi,\theta)/\pi$.

Зависимость $r(\lambda,\varphi_0,\theta_0,\varphi,\theta)$ от длины волны λ при фиксированных $\varphi_0,\theta_0,\varphi,\theta$ называют спектральной характеристикой отражения.

Отражательная способность в широком спектральном диапазоне характеризуется интегральным коэффициентом яркости

$$r(\lambda,\varphi_0,\theta_0,\varphi,\theta)=\int_0^\infty L(\lambda,\varphi_0,\theta_0,\varphi,\theta)d\lambda\Big/\int_0^\infty L_{Ä}(\lambda,\varphi_0,\theta_0)d\lambda.$$

Пределы интегрирования на практике конечны и определяются спектральным диапазоном работы системы.

Рассмотренные параметры и характеристики отражательной способности связаны с понятием яркости и зависят от направления под которым производится измерение (углов φ и θ).

Для описания отражающих свойств объектов в полном телесном угле 2π (в полусфере) используют понятие альбедо. Различают спектральное и интегральное альбедо.

Спектральное альбедо $\rho(\lambda,\varphi_0,\theta_0)$ определяется как отношение потока, отраженного от объекта $\Phi_{отр}(\lambda,\varphi_0,\theta_0)$, к падающему потоку $\Phi_{пад}(\lambda,\varphi_0,\theta_0)$ при заданных условиях освещения в узком спектральном диапазоне $\lambda+\Delta\lambda$:

$$\rho(\lambda,\varphi_0,\theta_0)=\Phi_{отр}(\lambda,\varphi_0,\theta_0)/\Phi_{пад}(\lambda,\varphi_0,\theta_0).$$

Интегральное альбедо:

$$\rho(\lambda,\varphi_0,\theta_0)=\int_0^\infty \Phi_{отр}(\lambda,\varphi_0,\theta_0)d\lambda/\int_0^\infty \Phi_{пад}(\lambda,\varphi_0,\theta_0)d\lambda.$$

Спектральное альбедо может быть получено интегрированием спектрального коэффициента отражения по угловым координатам:

$$\rho(\lambda,\varphi_0,\theta_0)=\frac{1}{\pi}\int_0^{\pi/2}\int_0^{2\pi} r(\lambda,\varphi_0,\theta_0,\varphi,\theta)\cos\varphi\sin\varphi d\theta d\varphi.$$

Для ортотропной (диффузной) поверхности:

$$\rho(\lambda,\varphi_0,\theta_0)=r(\lambda,\varphi_0,\theta_0).$$

Список литературы

[1]. Gordon H. B. *Oppl. Optic*, 2008 v. 37 №17

Горбунов Александр Константинович – д-р физ.-мат. наук, заведующий кафедрой "Физика" КФ МГТУ им. Н.Э. Баумана. E-mail: kf_MGTU_FIZ@mail.ru.

Коваленко Елизавета Александровна – студент КФ МГТУ им. Н.Э. Баумана. E-mail: www.yoursmile@yandex.ru.

А.Р. Машина, А.К. Горбунов

ПАРАМЕТРЫ И ХАРАКТЕРИСТИКИ ИЗЛУЧАТЕЛЕЙ В ОБЛАСТИ СОБСТВЕННОГО ИЗЛУЧЕНИЯ

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

Параметры и характеристики собственного теплового излучения объектов связаны с параметрами и характеристиками черного тела. Поэтому рассмотрим вначале закономерности, связанные с излучением черного тела.

Наиболее общим законом излучения черного тела является закон Планка, по которому спектральная интенсивность поверхностной плотности излучения черного тела зависит только от его температуры и длины волны и определяется соотношением:

$$M_{e\lambda}^{чт} = c_1 \lambda^{-5} \left[\exp\left(\frac{c_2}{\lambda T} \right) - 1 \right]^{-1}, \qquad (1)$$

где T - температура черного тела, К; $c_1 = 3{,}74 \cdot 10^{-8}$, Вт $\cdot$ мкм$^4 \cdot$ м$^{-2}$, $c_2 = 14388$ мкм $\cdot$ К.

Графическим изображением закона Планка являются так называемые изотермы Планка.[1]

Отметим ряд важных следствий, связанных с законом Планка.

1. Изотермы Планка не пересекаются, при этом изотерма для черного тела с большей температурой охватывает изотерму для черного тела с меньшей температурой (рис.1).

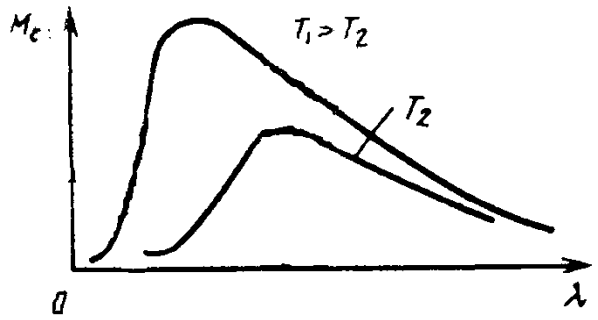


Рис.1 – Изотермы Планка.

2. Интегрирование по спектру функции Планка (1) дает соотношение, известное как закон Стефана-Больцмана

$$M_e = \int_0^\infty M_{e\lambda}^{чт} d\lambda = \sigma T^4,$$

где $\sigma = 5{,}67 \cdot 10^{-8}$ Вт $\cdot$ м$^{-2} \cdot$ К$^{-4}$ – постоянная Стефана-Больцмана.

Таким образом, площадь под изотермой Планка численно равна σT^4.

Закон Стефана-Больцмана, по которому $M_e = \sigma T^4$, был окончательно сформулирован в 1884 г., за 16 лет до открытия закона Планка.

3. Максимум функции Планка определяется координатами

$$\lambda_m = 2898/T,$$

$$M_{e\lambda_m} = 1,2864T^5 \cdot 10^{-11} \text{ Вт} \cdot \text{м}^{-2} \cdot \text{мкм}.$$

Эти соотношения известны как первый и второй законы Вина, которые также были получены раньше (1893 г.) закона Планка (1900 г.).

4. При малых величинах произведения $\lambda T < 3000$ мкм·К, т.е. когда $\exp(c_2/\lambda T) \gg 1$, аппроксимацией закона Планка в области коротких волн является выражение, полученное Вином:

$$M_{e\lambda} = c_1 \lambda^{-5} \exp\left(-\frac{c_2}{\lambda T}\right).$$

5. В области длинных волн, когда $\lambda T > 3000$, аппроксимацией закона Планка является формула Релея-Джинса (1900 г.) $M_{e\lambda} = c_1 T / c_2 \lambda^4$.

Эта формула также может быть получена из закона Планка при разложении экспоненты в ряд и при условии $c_2/\lambda T \ll 1$.

6. Наибольшая доля излучения черного тела (3/4) приходится на длинноволновую область, лежащую справа от λ_m (рис.2), т.е.

$$\int_0^{\lambda_m} M_{e\lambda} d\lambda = \frac{1}{4}\sigma T^4.$$

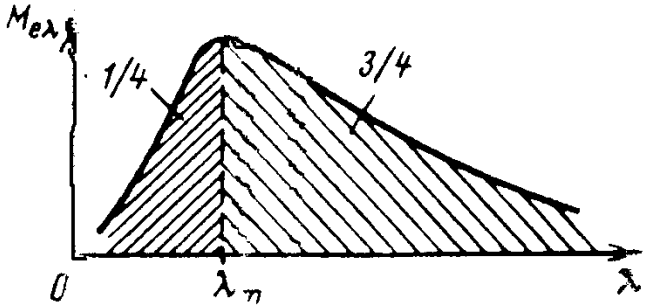


Рис.2 – Доли мощности излучения «черного тела»

7. Изотерма Планка имеет наибольшую крутизну на длине волны (в мкм) $\lambda_{кр} = 2411/T$.

Знание этой точки важно при работе ОЭС по контрасту между объектом и фоном, на котором этот объект расположен, если температуры объекта и фона близки. В области $\lambda_{кр}$ приращение $\Delta\lambda$ дает наибольшие приращения $\Delta M_{e\lambda}$, что и может быть использовано при обнаружении объекта.

8. Длина волны, на которой отношение $M_{e\lambda}^{чт} / M_e$ имеет максимальное значение, $\lambda_{эф} = 3625/T$ мкм.

Эта точка указывает на длину волны, на которой при данной температуре мощность излучения используется наиболее эффективно.

Перейдем к параметрам, представляющим объекты в области собственного излучения. В этой области яркости объектов в еще большей степени, чем в области отраженного излучения, зависят от структуры объектов и их состояния.

Важнейшим параметром реальных тепловых источников излучения является коэффициент излучения, определяемый как отношение спектральной интенсивности поверхностной плотности излучения реального излучателя к $M_{e\lambda}^{чт}$ черного тела:

$$\varepsilon_\lambda = M_{e\lambda} / M_{e\lambda}^{чт}$$

В зависимости от того, является ли величиной постоянной или переменной, тепловые излучатели можно разделить на серые и селективные. Для серых излучателей $\varepsilon_\lambda = const$.

Пример графиков спектральных интенсивностей поверхностной плотности излучения черного тела, серого тела и селективного излучателя с одинаковой температурой показан на рисунке 3. Отметим, что кривая для серого тела повторяет кривую черного тела, и максимумы этих кривых совпадают.

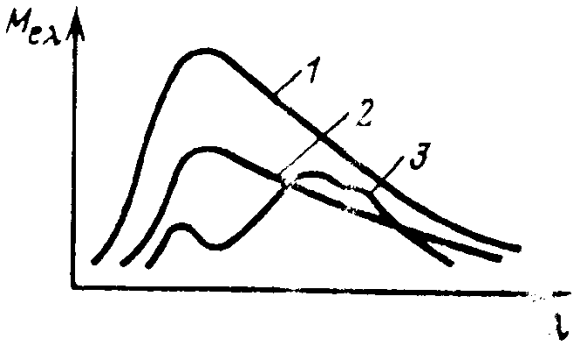


Рис.3 – Излучения тепловых источников: 1 – черное тел; 2 – серое тело; 3 – селективный излучатель

Для любых тепловых излучателей справедлив закон Кирхгофа, по которому отношение спектральной интенсивности поверхностной плотности излучения $M_{e\lambda}$ к коэффициенту поглощения α_λ на заданной длине волны на заданной элементарной площадке есть величина постоянная:

$$(M_{e\lambda} / \alpha_\lambda)_1 = (M_{e\lambda} / \alpha_\lambda)_2 = \ldots (M_{e\lambda} / \alpha_\lambda)_n = M_{e\lambda}^{чт}.$$

Поскольку $M_{e\lambda} = \varepsilon_\lambda M_{e\lambda}^{чт}$, справедливо

$$(\varepsilon_\lambda / \alpha_\lambda)_1 = (\varepsilon_\lambda / \alpha_\lambda)_2 = \ldots = (\varepsilon_\lambda / \alpha_\lambda)_n = 1,$$

т.е. чем лучше тело поглощает, чем лучше оно излучает. Черное тело поглощает все падающее на него излучение, поэтому является наилучшим излучателем.

Хорошо отражающие тела являются плохими излучателями. В общем случае излучение, падающее на объект, отражается объектом, поглощается им, а часть излучения проходит через объект. Если определить спектральные коэффициенты поглощения α_λ, пропускания τ_λ и отражения ρ_λ через отношения поглощенного, прошедшего и отраженного потоков к падающему монохроматическому потоку соответственно, то на основании закона сохранения энергии $\alpha_\lambda + \tau_\lambda + \rho_\lambda = 1$.

Для непрозрачных объектов $\tau_\lambda = 0$, поэтому $\rho_\lambda + \alpha_\lambda = 1$.

На основании закона Кирхгофа $\alpha_\lambda = \varepsilon_\lambda$, тогда $\varepsilon_\lambda = 1 - \rho_\lambda$.

Для описания излучательных свойств объектов в широком спектральном диапазоне используют также частичные и полные коэффициенты излучения. Частичный коэффициент определяется в виде

$$\varepsilon_{\Delta\lambda} = \int_{\lambda_1}^{\lambda_2} \varepsilon_\lambda M_{e\lambda}^{чт} d\lambda \Big/ \int_{\lambda_1}^{\lambda_2} M_{e\lambda}^{чт} d\lambda ,$$

а полный (интегральный) как

$$\varepsilon = \int_0^\infty M_{e\lambda}^{чт} \varepsilon_\lambda d\lambda \Big/ \int_0^\infty M_{e\lambda}^{чт} d\lambda = \int_0^\infty M_{e\lambda}^{чт} \varepsilon_\lambda d\lambda / \sigma T^4 .$$

Таким образом, с помощью коэффициентов излучения возможно выразить энергетические параметры и характеристики излучения реальных источников через излучение черного тела.

Литература.

[1]. Ллойд Дж. *Системы тепловидения*. М. Мир, 1994, 416 с.

Машина Анастасия Романовна – студент КФ МГТУ им. Н.Э. Баумана. E-mail: anaromash28@gmail.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.

И.Н. Радченко, Е.В. Мельникова

ПОДГОТОВКА ИСХОДНОГО СЫРЬЯ ДЛЯ РОСТА СЛИТКОВ МУЛЬТИКРИСТАЛИЧЕСКОГО КРЕМНИЯ

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

В настоящей работе приводятся результаты теоретического расчета степени очистки кремния от мышьяка при последовательном совмещении процессов высокотемпературного вакуумного отжига и кристаллизационной очистки по методу Чохральского. При этом на стадии отжига часть мышьяка удаляется из расплава кремния за счет испарения. Исследовалась возможность применения полученного по данной методике материала в процессах роста мультикристаллического кремния на установках направленной кристаллизации DDS.

Технологический указанный совмещенный вариант очистки выполняется на установках выращивания кристаллов методом Чохральского. Расплавление загрузки кремния, сильнолегированного мышьяком, производили в кварцевом тигле при вакуумной откачке или при продувке камеры аргоном. Исследование кристаллов, выращенных в атмосфере аргона, показали, что в данном варианте испарения мышьяка из расплава кремния на этапе роста кристалла почти не происходит. В связи с этим нижеследующие расчеты представлены только для варианта проведения совмещенного процесса очистки при вакуумировании.

Расчеты проводились для исходных данных: начальная концентрация мышьяка в расплаве кремния n-типа $N_0^{ж} = 2,2 \cdot 10^{19}$ *см*$^{-3}$; объем расплава $V_0^{ж} = 7905$ (для 20 кг кремния); свободная поверхность расплава в тигле диаметром 35 *см* $F_u = 962$ *см*^{2}; коэффициент испарения мышьяка из расплава кремния $\alpha = 4 \cdot 10^{-4}$ *см/с*; f=2,5$\cdot 10^{-3}$ *см/с*

Степень очистки кремния от мышьяка на стадии вакуумного отжига определяется выражением

$$\frac{N_{(t0)}^{ж}}{N_0^{ж}} = e^{-\frac{\alpha \cdot F_u \cdot \tau}{V_0^{ж}}}.$$

Здесь $N_{(t0)}^{ж}$ [*ат/см*^{3}] – концентрация мышьяка в расплаве кремния после высокотемпературного вакуумного отжига расплава; τ[*с*]- длительность отжига.

Выборочные результаты расчета по формуле представлены в таблице 1.

Таблица 1. - Расчетная степень очистки расплава кремния от мышьяка на этапе высокотемпературного вакуумного отжига

$N^{ж}_{(t0)} / N^{ж}_{0}$	Длительность отжига, τ		$N^{ж}_{(t0)}$, *ат / см*^{3}
	часы	секунды	
0,84	1	3600	$1{,}85 \cdot 10^{19}$
0,174	10	36000	$3{,}8 \cdot 10^{18}$
0,03	20	72000	$6{,}6 \cdot 10^{17}$
0,052	30	108000	$1{,}15 \cdot 10^{17}$

Таким образом, при высокотемпературном(1450^0С) вакуумном отжиге в течение 30 часов концентрация мышьяка в расплаве может быть уменьшена с величины $N^{ж}_{0} = 2,2 \cdot 10^{19}$ *ат/см*^{3} до $N^{ж}_{(t0)} = 1{,}15 \cdot 10^{17}$ *ат/см*$^{3.}$ При этом УЭС(удельное электрическое сопротивление) возрастает от 0,004 *Ом·см* до 0,18 *Ом·см*.

Представленные в статье расчеты и описанная компоновка загрузки показывают применимость данного комбинированного метода очистки для получения кремниевого сырья, пригодного для начальной стадии изготовления солнечных батарей – роста слитков мультикристаллического кремния.[1]

Данная методика позволила существенно улучшить коэффициент использования материалов за счет применения кремния, сильнолегированного мышьяков (раннее считался невозможным к использованию), так и за счет переработки возвратных отходов производства.

Литература

[1]. Потолоков Н.А., Решетников Н.М., Кутовой И.С., и др. Промышленное производство мультикристаллического кремния в России: состояние, проблемы, перспективы // *Тезисы докладов VII МНК по актуальным проблемам физики, материаловедения, технологии и диагностики кремния.* Нижний Новгород, 6–9.07.2010. Изд. НГГУ, – 2010. – С.70-72.

Радченко Ирина Николаевна – канд. физ.-мат. наук, доцент КФ МГТУ им. Н.Э. Баумана. E-mail: rin-kf@yandex.ru.

Мельникова Елизавета Витальевна – студент КФ МГТУ им. Н.Э. Баумана. E-mail: melnikova.lizi@gmail.com.

Горбунов А.К., Баранникова И.В.

ПОЛЕ ИЗЛУЧЕНИЯ КАК ИСТОЧНИК ИНФОРМАЦИИ

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

Источником информации для ОЭС является пространство объектов – поле излучения. Применительно к полю излучения, как источник информации, понятие априорной энтропии может быть сведено к следующему. До измерения представим поле излучения в виде совокупности элементарных областей, число которых в угловом поле оптической системы равно N. Внутри каждой области поле излучения может принимать m состояний с вероятностями $p(n_i)$. Очевидно, что с увеличением числа N априорная энтропия возрастает. Численное значение H_{apr} ставится таким образом в зависимость от числа N, а при условии идеальной ОЭС, в которой отсутствуют потери информации, количество информации I, полученное в результате измерений, также должно неограниченно возрастать.

Число N может быть ограничено принципиальными причинами, связанными с ограниченным разрешением прибора и образованием Ɛ-областей, внутри которых изменение сигнала не может быть зарегистрировано.

При дифракционных ограничениях угловой размер кружка рассеяния (кружка Эри)

$$d_л = 2{,}44\lambda/D,$$

где λ-длина волны излучения; D-диаметр входного зрачка объектива. В линейной мере диаметр кружка Эри $d_л = 2{,}44\lambda f'/D$.

Будем считать, что Ɛ-область определяется дифракцией и ее площадь, приведенная к фокальной плоскости объектива, создающего изображение исследуемого поля излучения, равна площади квадрата со стороной $d_л$, т.е.

$$d_л^2 = \left(\frac{2{,}44\lambda}{D} f'\right)^2.$$

Число элементов дискретизации изображения, имеющего в фокальной плоскости объектива площадь S,

$$N_Ɛ = S/d_л^2.$$

Пусть изображение ограничено по площади окружностью диаметром

$$D_и = 2f' tgW,$$

где 2W – размер углового поля объектива. Тогда в пределах всего углового поля число элементов дискретизации (число Ɛ-областей)

$$N_Ɛ = \pi D_и^2/4d_л^2 = \pi D^2(tgW/2{,}44\lambda)^2. \quad (1)$$

При малых W, когда tg W = W, выражение (1) приводится к виду

$$N_Ɛ = 0{,}67A_{вх}\left(\frac{W}{\lambda}\right)^2, \quad (2)$$

где $A_{вх}$ – площадь входного зрачка оптической системы.

С учетом равенства $D/f' = 2tg\sigma'$ - апертурный угол объектива, выражение (1) может быть преобразовано к виду

$$N_{\varepsilon} = 0{,}67\pi\left[\frac{f'}{\lambda}Wtg\sigma'\right]^2 \quad (3)$$

Пусть в каждой Ɛ-области поле излучения может принимать значения яркости от 0 до L_{max} и число этих значений равно $m+1$ (m- число разрешаемых градаций яркости). Число различных возможных сочетаний, т.е. различных распределений яркости по всему угловому полю ОЭС, $z = (m+1)^N$.

В случае равной вероятности возможных сочетаний энтропия поля излучения максимальна

$$H_{apr} = log_2(m+1)^N = Nlog_2(m+1). \quad (4)$$

Окончательно получим из формул (2), (3), (4) выражения для априорной энтропии поля излучения при ограничении ее дифракцией

$$H_{apr} = 0{,}67A_{вх}\left(\frac{W}{\lambda}\right)^2 log_2(m+1) \quad (5)$$

или

$$H_{apr} = 0{,}67\pi\left(\frac{f'}{\lambda}Wtg\sigma'\right)^2 log_2(m+1). \quad (6)$$

Если принять, что минимально разрешаемое расстояние между Ɛ-областями равно диаметру аберрационного кружка в линейной мере на длине волны λ, или в угловой мере $d_{y\lambda} = d_{л\lambda}/f'$, то легко получить

$$N_{\varepsilon} = S/d_{л\lambda} = \pi(Wf'/d_{л\lambda})^2 = \pi\left(W/d_{y\lambda}\right)^2. \quad (7)$$

Тогда выражение для априорной энтропии поля излучения при аберрационных ограничениях будет

$$H_{apr} = \pi\left(W/d_{y\lambda}\right)^2 log_2(m+1). \quad (8)$$

Если требуемое отношение сигнал/шум, необходимое для разрешения m градаций яркости поля излучения, равно μ, то оно может быть определено по приближенной формуле

$$m \approx \sqrt{2\mu}.$$

Тогда формулы (5) и (6) принимают вид

$$H_{apr} = 0{,}67A_{вх}(W/\lambda)^2 log_2\left(\sqrt{2\mu}+1\right)$$

или

$$H_{apr} = 0{,}67\pi[(f'/\lambda)Wtg\sigma']^2 log_2\left(\sqrt{2\mu}+1\right)$$

и формула (8) принимает вид

$$H_{apr} = \pi(W/d_{л\lambda})^2 log_2\left(\sqrt{2\mu}+1\right).$$

Из формул (2) и (2) легко получить, что число Ɛ-областей для цвета с длиной волны λ_i при дифракционных ограничениях

$$H_{\varepsilon\lambda_i} = N_{\varepsilon\lambda_1}(\lambda_1/\lambda_i)^2,$$

и из выражения (7) при аберрационных ограничениях

$$N_{\varepsilon\lambda_i} = N_{\varepsilon\lambda_1}\left(d_{\lambda_1}/d_{\lambda_i}\right)^2,$$

где $N_{\varepsilon\lambda_i}$ – число Ɛ-областей, определенных для длины волны λ_1 при дифракционных ограничениях по формуле (2) или (3), а при аберрационных ограничениях по формуле (7), d_{λ_1} и d_{λ_i} – аберрационный кружок рассеяния для длин волн λ_1 и λ_i соответственно.

Априорная энтропия поля излучения для цвета с длиной волны λ_i определяется как

$$H_{apr\,\lambda_i} = N_{\varepsilon\lambda_i} log_2(m+1),$$

или с учетом отношения сигнал/шум μ_{λ_i}, реализуемого на длине волны λ_i,

$$H_{apr} = N_{\varepsilon\lambda_i} log_2\left(\sqrt{2\mu}+1\right).$$

Априорная суммарная энтропия H_Σ может определяться путем алгебраического суммирования энтропий одноцветных изображений, полученных на длинах волн λ_1, λ_2, λ_3 и не превысит утроенного значения максимальной из них; при этом предполагается, что эти энтропии независимы.

Литература:

[1]. Мишев Д. Дистанционные исследования Земли из космоса. Москва: Мир,1992.

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.

А.К. Горбунов, Ю.В. Корабельникова

ПСЕВДОТЕМПЕРАТУРЫ

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

Для описания как собственного, так и отраженного излучения объектов используют так называемые псевдотемпературы. Нами уже отмечалось, что параметры и характеристики излучения черного тела могут быть однозначно определены, если известен только один параметр – температура черного тела *T*. Поэтому весьма удобно для практических расчетов заменить реальный источник черным телом, предварительно оговорив эквивалентность такой замены. В качестве критериев эквивалентности выступают спектральная плотность яркости, взятая на какой-либо длине волны, поверхностная плотность излучения в широком спектральном диапазоне, подобие спектральной плотности яркости на каких-либо длинах волн. Соответственно различают яркостную температуру, радиационную температуру и температуру распределения излучателя.

Яркостной температурой излучателя называют такую температуру эквивалентного черного тела, при которой его спектральная плотность энергетической яркости на определенной длине волны $L_{e\lambda}{}^{чт}(\mathrm{T}_я)$ равна спектральной плотности энергетической яркости реального излучателя на той же длине волны $L_{e\lambda}(T)$, т.е.

$$L_{e\lambda}^{чт}(T_я) = L_{e\lambda}(T).$$

Допустим, что коэффициент излучения реального излучателя ε_λ на заданной длине волны известны. Будем считать также, что выполняется условие применимости формулы Вина, апроксимирующий закон Планка в области коротких длин волн, т.е. λT<3000 *К*. Тогда, используя следствие из закона Ламберта и формулу Вина, запишем следующее равенство:

$$\exp\left(-\frac{c_2}{\lambda T_я}\right) = \varepsilon_\lambda \exp\left(-\frac{c_2}{\lambda T}\right).$$

Логарифмируя обе части равенства, получим

$$\frac{1}{T} - \frac{1}{T_я} = \frac{\lambda}{c_2}\ln\varepsilon_\lambda = \frac{\lambda lg\varepsilon_\lambda}{6260},$$

где $c_2 = 1{,}44\cdot 10^4$ *мкм* $\cdot$ *К*.

В фотометрии яркостную температуру обычно определяют на длине волны λ=0,655 *мкм*. Для этой длины волны $T_я = T/\left(1 - 1{,}04\cdot 10^{-4} T\, lg\varepsilon_\lambda\right)$.

Очевидно, что по определению яркостная температура всегда меньше, чем температура реального излучателя.

Радиационной температурой излучателя называют такую температуру эквивалентного черного тела, при которой его поверхностная плотность излучения $M_e^{чт}(T_p)$ равна поверхностной плотности излучения реального излучателя $M_e(T)$, т.е.

$$M_e^{чт}(T_p) = M_e(T).$$

Если реальным излучателем является серое тело, то на основании закона Стефана – Больцмана можно записать $\sigma T_p^4 = \varepsilon\sigma T^4$ или $T_p = T\sqrt[4]{\varepsilon}$, где ε – коэффициент излучения серого тела.

Радиационная температура так же, как и яркостная, меньше температуры реального излучателя.

Температурой распределения излучателя называют такую температуру эквивалентного черного тела, при которой распределение его спектральной плотности энергетической яркости подобно распределению спектральной плотности энергетической яркости реального излучателя. Критерием эквивалентности замены реального излучателя черным телом является соотношение

$$L_{(e\lambda_1)}^{чт}(T_{рп}) / L_{(e\lambda_2)}^{чт}(T_{рп}) = L_{(e\lambda_1)}^{чт}(T) / L_{(e\lambda_2)}^{чт}(T), \qquad (1)$$

где λ_1 и λ_2 – заданные длины волн.

Если это соотношение выполняется для длин волн λ_1=0,655 *мкм* и λ_2=0,467 *мкм*, то такую температуру эквивалентного черного тела называют цветовой температурой излучателя $T_ц$.

Примем допущения, по которым возможно применить формулу Вина и следствие из закона Ламберта. Тогда можно записать из формулы (1)

$$\exp\left(-\frac{c_2}{\lambda_1 T_{рп}}\right) / \exp\left(-\frac{c_2}{\lambda_2 T_{рп}}\right) = \varepsilon_{\lambda_1}\exp\left(-\frac{c_2}{\lambda_1 T}\right) / \varepsilon_{\lambda_2}\exp\left(-\frac{c_2}{\lambda_2 T}\right),$$

где ε_{λ_1} и ε_{λ_2} – коэффициенты излучения реального излучателя на длинах волн λ_1 и λ_2 соответственно.

Представим это выражение в виде

$$\exp\frac{c_2}{T_{рп}}\left(\frac{1}{\lambda_2} - \frac{1}{\lambda_1}\right) = (\varepsilon_{\lambda_1} / \varepsilon_{\lambda_2}) exp\frac{c_2}{T}\left(\frac{1}{\lambda_2} - \frac{1}{\lambda_1}\right).$$

Логарифмируя, получим

$$\frac{c_2}{T_{рп}}\left(\frac{1}{\lambda_2} - \frac{1}{\lambda_1}\right) = \ln\left(\varepsilon_{\lambda_1} / \varepsilon_{\lambda_2}\right) + \frac{c_2}{T}\left(\frac{1}{\lambda_2} - \frac{1}{\lambda_1}\right),$$

или

$$\frac{1}{T_{рп}} = (\ln\varepsilon_{\lambda_1} - \ln\varepsilon_{\lambda_2}) / c_2\left(\frac{1}{\lambda_2} - \frac{1}{\lambda_1}\right) + \frac{1}{T}.$$

Можно получить, что цветовая температура

$$T_ц = T / \left[1 + 2{,}56 \cdot 10^{-4} T \lg\left(\varepsilon_{\lambda_1} / \varepsilon_{\lambda_2}\right)\right].$$

Температура распределения и цветовая температура могут быть и больше, и меньше температуры реального излучателя [1].

Литература

[1]. Sheppard H. *Spectr*, 1997, vol. 53 (A), ss. 97-155.

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.

А.К. Горбунов, М.И. Клочкова

РАССЕЯНИЕ ИЗЛУЧЕНИЯ В АТМОСФЕРЕ.

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

Излучение рассеивается в земной атмосфере на молекулах воздуха, частицах аэрозоля, каплях дождя и кристаллах льда. Рассеяние сопровождается поглощением частицей вещества энергии оптического излучения и переизлучения этой энергии в телесный угол, вершиной которого является сама частица. В зависимости от соотношения между длиной волны и размером частиц выделяют следующие виды рассеяния: релеевское и рассеяние Ми.

Релеевское, или молекулярное рассеяние, имеет место, когда размеры рассеивающей частицы горазд меньше длины волны падающего на неё излучения. Оно хорошо описывается формулой Энштейна-Смолуховского:

$$J = J_0 \pi \upsilon [\rho(\partial\varepsilon/\partial\rho_p)]^2 \beta_T KT(1+\cos^2 x)/2\lambda^4 l^2,$$

где J_0 - интенсивность падающей радиации; υ -рассеивающий объем; ρ_p - плотность среды; ε - диэлектрическая проницаемость; β_T - изотермическая сжимаемость; К- постоянная Вольцмана; Т- абсолютная температура; l- расстояние от рассеивающего объема до точки наблюдения. Индикатриса молекулярного рассеяния

$$P_M(x) = 3(1+\cos^2 x)/4$$

определяет угловое (по x) распределение рассеянной радиации. Влияние анизотропии молекул на форму индикатрисы учитывается соотношением Чандрасекара:

$$P_M(x,\Theta,\Delta) = 3[(1+3\Theta)+(1+\Theta)\cos^2 x]/4(1+2\Theta),$$

где $\Theta = \Delta(2-\Delta)^{-1}$; Δ -фактор деполяризации рассеянного излучения(для воздуха 0,035).

Коэффициент $\alpha_{\lambda MP}$ молекулярного (релеевского) рассеяния определяется по формуле

$$\alpha_{\lambda MP} = (8\pi^3(n-1)/3N\lambda^4) * ((6+3\Delta)/(6-7\Delta)) \quad (1)$$

где N- число молекул в единице объема; n-показатель преломления среды; λ -длина волны излучения.

Как видно из (1) интенсивность однократно рассеянного излучения обратно пропорциональна четвертой степени длины волны и, следовательно, коротковолновая радиация рассеивается молекулами воздуха гораздо эффективнее красных лучей. Это обусловливает голубой цвет небосвода. При взаимодействии солнечного излучения с молекулами воздуха рассеянное излучение становится поляризованным. Степень линейной поляризации достигает максимального значения в направлении, перпендикулярном направлению распространения света.

В атмосфере находится значительное количество частиц, размеры которых больше 1/10 длины волны. К описанию процессов рассеяния излучения «крупными» частицами применяют теорию Ми, на основании которой можно рассматривать и релеевское рассеяние как частный случай. Однако под рассеянием Ми обычно понимают аэрозольное рассеяние.

Общий монохроматический коэффициент ослабления за счёт рассеяния $\alpha_{\lambda P}$ складывается из коэффициентов молекулярного рассеяния $\alpha_{\lambda MP}$ и коэффициента аэрозольного рассеяния $\alpha_{\lambda AP}$: $\alpha_{\lambda P} = \alpha_{\lambda MP} + \alpha_{\lambda AP}$.

Для аналитической оценки рассеивающих свойств атмосферы необходимо знать распределение частиц по размерам, их форму и концентрацию, а также комплексный показатель преломления вещества частиц.

Однако эти характеристики отличаются многообразием и зависят от условий наблюдений, в том числе погодных.

В практических расчетах ослабления излучения вследствие рассеяния используется понятие «метеорологическая дальность видимости» l_m ,характеризующие замутненность атмосферы. Метеорологическая дальность видимости измеряется расстоянием, на котором различима черная мишень или предметы, контраст которых по отношению к фону неба равен 1 (на фоне неба при пороге контрастной чувствительности глаза наблюдателя $\varepsilon = 0{,}02$). Метеорологическая дальность видимости связана с коэффициентом рассеяния соотношением

$$l_m = (1/\alpha_{\lambda P})\ln(1/\varepsilon) = (1/\alpha_{\lambda P})\ln(1/0{,}02) = 3{,}912/\alpha_{\lambda P} .$$

Понятие метеорологической дальности видимости относится к излучению с длиной волны $\lambda = 0{,}55\,мкм$, при которой глаз имеет наибольшую чувствительность, и к горизонтальным трассам. Для расчета рассеяния на наклонных трассах необходимо знать вертикальные профили коэффициентов рассеяния.

На высоте Н до 5 км коэффициент аэрозольного рассеяния определяется зависимостью

$$\alpha_{\lambda AP}(H) = \alpha_{\lambda AP}(0)\exp(-H/H_\alpha)$$

где H_α - эмпирическая постоянная , выбираемая для различных l_M из условия, что при Н= 5 км $\alpha_{\lambda AP} = 5\text{x}10^{-3}\,км^{-1}$ для $\lambda = 0{,}55\,мкм$.

При расчете рассеяния в вертикальном направлении используют модель однородной запыленной атмосферы, в которой предполагается, что распределение частиц в слое предполагается равной значению концентрации N_0 на уровне земли, а толщина слоя равна высоте однородной аэрозольной атмосферы H_P .

Вертикальную оптическую толщину всего слоя аэрозольной атмосферы можно определить по формуле:

$$T_P = \alpha_{\lambda P}(0) H_P ,$$

где $\alpha_{\lambda P}(0)$ - коэффициент аэрозольного рассеяния у поверхности Земли. Величины H_P и выбирают из таблиц. Для наклонного пути при зенитных углах $\Theta < 60$ градусов оптическая толщина аэрозольной атмосферы находится как $T_P = \alpha_{\lambda P}(0) H_P sec\Theta$.

В ряде работ имеются таблицы для расчета T_P и $\alpha_{\lambda P}$ для различных высот, длин волн и значений метеорологической дальности видимости в условиях дымки, являющейся практически возможным реальным атмосферным условием работы зондирующей ОЭС.

Из сопоставления влияния аэрозольного рассеяния и поглощения в условиях дымки следует, что при метеорологической дальности видимости $l_{¿m} > 10\,км$ аэрозольное рассеяние вызывает гораздо меньшее ослабление излучения, чем поглощение в диапазоне длин волн 2,5- 14 км. В области длин волн до 2,5 км рассеяния и поглощения в ослаблении излучения соизмеримы.

Литература:

[1]. Maxwell M.S. The sequential filter imaging radiomerer (SIIR)- A new instrument configuration for earth observations // IEEEE Traus on geoscience and Remote Sensing — 1998 — V.36 Ni- Pp.82-93

Горбунов Александр Константинович – д-р физ.-мат. наук, заведующий кафедрой "Физика" КФ МГТУ им. Н.Э. Баумана. E-mail: kf_MGTU_FIZ@mail.ru.

Клочкова Мария Игоревна – студент КФ МГТУ им. Н.Э. Баумана. E-mail: oleola10@yandex.ru.

И.Н. Радченко, А. Ю. Ягур, П.М. Иванова

РАСЧЕТ КОМПОНЕНТОВ ЛИГАТУРЫ ДЛЯ РОСТА МУЛЬТИКРИСТАЛЛИЧЕСКОГО КРЕМНИЯ

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

С целью снижения затрат технологический процесс получения кремниевых пластин основывается на применении как чистого поликристаллического кремния, так и отходов производства «электронного» кремния. Основными компонентами загрузки при этом являются поликремний, скрап (тигельные остатки), ремелт монокристаллов, отходы поликристаллического кремния (поликремниевые стержни с графитовыми электродами), возвратные отходы, представленные обрезью предыдущих процессов обработки слитков. Таким образом, загрузки для роста слитков являются многокомпонентными, то есть состоят из нескольких частей исходного кремния *p*– и *n*– типов проводимости. В рамках данной статьи принимается, что части загрузки n–типа легированы элементом VA группы (фосфором), а части p–типа – элементом IIIA группы (бором). После определения состава и массы частей загрузки, поступающих на процесс выращивания, рассчитывают требуемое количество лигатуры, необходимое для достижения заданного значения удельного электрического сопротивления (УЭС) в слитке.

Лигатура и компоненты загрузки поступают с измеренными значениями удельного сопротивления, которые для дальнейших расчетов переводят в величины концентрации носителей заряда (по формулам, представленным в ASTM F723, [1]). Аналогично, исходя из требуемого значения УЭС в готовом слитке, определяют

Масса лигатуры, необходимая для достижения необходимой величины целевой концентрации носителей заряда $C_{цел}$, рассчитывается по формуле ([2]):

$$M_{лиг} = \frac{M_{заг} \cdot C_{цел} - \left[K_{бор} \cdot \sum_i (Mp_i \cdot Cp_i) - K_{фос} \cdot \sum_j (Mn_j \cdot Cn_j) \right]}{C_{лиг} \cdot K_{бор}} \qquad (1)$$

В формуле (1) введены следующие обозначения:

$M_{лиг}$, $M_{заг}$ $[кг]$ – массы лигатуры и загрузки;

$C_{цел}$ $\left[ат / см^3 \right]$ – расчетная целевая концентрация носителей заряда;

$C_{лиг}$ $\left[ат / см^3 \right]$ – концентрация носителей заряда в лигатуре;

Mp_i, Mn_j $[кг]$ – массы частей загрузки кремния *p*– и *n*–типов проводимости, соответственно;

Cp_i, Cn_j $\left[ат/см^3\right]$ – концентрации носителей заряда в частях загрузки кремния *p*– и *n*–типов проводимости;

$K_{бор} = 0,8;$ $K_{фос} = 0,4$ – коэффициенты распределения бора и фосфора в кремнии; *i, j* – число компонентов загрузки *p*– и *n*–типов проводимости, соответственно.

Концентрация $C_{цел}$ определяется из уравнения (1)

$$C_{цел} = \frac{M_{лиг} \cdot C_{лиг} \cdot K_{бор} + \left[K_{бор} \cdot \sum_i (Mp_i \cdot Cp_i) - K_{фос} \cdot \sum_j (Mn_j \cdot Cn_j) \right]}{M_{заг}} \quad (2)$$

и $C_{цел}$ является функцией нескольких переменных:

$$C_{цел} = f(M_{лиг}, C_{лиг}, Mp_i, Cp_i, Mn_j, Cn_j) \quad (3)$$

Для реального процесса роста мультикристаллического кремния была использована многокомпонентная загрузка, состав которой и данные по концентрации носителей заряда в каждой из частей приведены в таблице 1. Для данного состава загрузки масса лигатуры рассчитывалась по формуле (1) из условия получения слитка с $УЭС = 1,7 Ом \cdot см,$ что соответствует $C_{цел} = 8,247 \cdot 10^{15}\ ат/см^3$.

Таблица 1. - Состав загрузки для роста слитка мультикристаллического кремния

№	Тип проводимости	Вес, *кг*	Концентрация носителей заряда, $ат/см^3$
1	*p*	80	$3,45 \cdot 10^{15}$
№	Тип проводимости	Вес, *кг*	Концентрация носителей заряда, $ат/см^3$
2	*p*	60	$3,22 \cdot 10^{16}$
3	*p*	30	$1,84 \cdot 10^{16}$
4	*n*	80	$1,4 \cdot 10^{14}$
5	*n*	20	$4,37 \cdot 10^{14}$
6	*n*	15	$1,13 \cdot 10^{15}$

В результате проведенных вычислений установлено, что при указанном в таблице 1 составе исходной загрузки учет всех вносимых погрешностей может приводить к изменению реальной величины в пределах значе-

ний. При этом реальная величина УЭС при заданном расчетной величине попадает в диапазон значений от 1,44 до 2,18 *Ом·см.*

Литература

[1]. Standard Practice for Conversion Between Resistivity and Dopant Density for Boron-Doped, Phosphorus-Doped, and Arsenic-Doped Silicon //American Society for Testing and Materials, 100 Barr Harbor Dr., West Conshohocken, PA 19428, Reprinted from the Annual Book of ASTM Standards. Copyright ASTM.

[2]. *Нашельский А.Я.* Производство полупроводниковых материалов. – М.: Металлургия, 2003.

Радченко Ирина Николаевна – канд. физ.-мат. наук, доцент КФ МГТУ им. Н.Э. Баумана. E-mail: rin-kf@yandex.ru.

Ягур Алена Юрьевна – студент КФ МГТУ им. Н.Э. Баумана. E-mail: ljolja95@gmail.com.

Иванова Полина Михайловна – студент КФ МГТУ им. Н.Э. Баумана. E-mail: ivapol5@yandex.ru.

М.Н. Бронников, Р.А. Тимохин, И.Н. Радченко

РАСЧЕТ СЛОЖНЫХ ПОГРЕШНОСТЕЙ НА ПРИМЕРЕ ОПРЕДЕЛЕНИЯ ПОГРЕШНОСТИ ИСХОДНОГО СОСТАВА ДЛЯ РОСТА КРЕМНИЕВЫХ КРИСТАЛЛОВ

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

Мультикристаллический кремний (mc–Si) до сих пор остается наиболее распространенным полупроводниковым материалом, используемым при изготовлении фотоэлектрических преобразователей. В связи с этим при росте слитков одним из основных критериев их качества является точность достижения требуемых электрофизических параметров. Исходя из этого, одной из важнейших является задача определения погрешности определения удельного электрического сопротивления УЭС на этапе подготовки загрузки для роста слитка мультикристаллического кремния с заданными параметрами.

Лигатура и компоненты загрузки поступают с измеренными значениями удельного сопротивления, которые для дальнейших расчетов переводят в величины концентрации носителей заряда (по формулам, представленным в ASTM F723, [1]). Исходя из требуемого значения УЭС в готовом слитке, определяют целевую концентрацию носителей заряда – $C_{цел}$.

Загрузки для роста слитков являются многокомпонентными, то есть состоят из нескольких частей исходного кремния *p*– и *n*– типов проводимости. При этом части загрузки *n*–типа легированы элементом VA группы (фосфором), а части *p*–типа – элементом IIIA группы (бором). После определения состава и массы частей загрузки, поступающих на процесс выращивания, рассчитывают требуемое количество лигатуры, необходимое для достижения заданного значения УЭС в слитке.

Концентрация $C_{цел}$ определяется из уравнения:

$$C_{цел} = \frac{M_{лиг} \cdot C_{лиг} \cdot K_{бор} + \left[K_{бор} \cdot \sum_i (Mp_i \cdot Cp_i) - K_{фос} \cdot \sum_j (Mn_j \cdot Cn_j) \right]}{M_{заг}} \quad (1)$$

В формуле (1) введены следующие обозначения: $M_{лиг}$, $M_{заг}$ $[кг]$ – массы лигатуры и загрузки; $C_{цел}$ $\left[ат/см^3\right]$ – расчетная целевая концентрация носителей заряда; $C_{лиг}$ $\left[ат/см^3\right]$ – концентрация носителей заряда в лигатуре; Mp_i, Mn_j $[кг]$ – массы частей загрузки кремния *p*– и *n*–типов проводимости, соответственно; Cp_i, Cn_j $\left[ат/см^3\right]$ – концентрации носителей заряда в частях загрузки кремния *p*– и *n*–типов проводимости;

$K_{бор} = 0,8$; $K_{фос} = 0,4$ – коэффициенты распределения бора и фосфора в кремнии.; *i*, *j* – число компонентов загрузки *p*– и *n*–типов проводимости, соответственно.

Таким образом, $C_{цел}$ является функцией нескольких переменных:

$$C_{цел} = f(M_{лиг}, C_{лиг}, Mp_i, Cp_i, Mn_j, Cn_j) \quad (2)$$

Согласно обычной методики вычисления погрешностей, абсолютная погрешность результата вычисления данной функции равна сумме произведений модуля частной производной функции по каждому из параметров на абсолютную погрешность определения этого параметра, т.е.

$$\Delta C_{цел} = |\Delta_1| + |\Delta_2| + |\Delta_3| + |\Delta_4| + |\Delta_5| + |\Delta_6| \quad (3)$$

Символьное дифференцирование функции $C_{цел}$ (2) проводилось с помощью программы MathCAD. В результате вычислений были получены выражения для учета вклада погрешностей по каждой переменной:

– погрешность взвешивания лигатуры

$$\Delta_1 = \frac{C_{лиг} \cdot K_{бор}}{M_{заг}} \cdot \Delta M_{лиг}$$

– погрешность определения концентрации

$$\Delta_2 = \frac{M_{лиг} \cdot K_{бор}}{M_{заг}} \cdot C_{лиг} \cdot \Delta C_{лиг}$$

– погрешности взвешивания частей загрузки *p*–типа и *n*–типа:

$$\Delta_3 = \frac{K_{бор} \cdot \sum_i Cp_i}{M_{заг}} \cdot \Delta Mp \cdot i$$

и

$$\Delta_4 = \frac{K_{фос} \cdot \sum_j Cn_j}{M_{заг}} \cdot \Delta Mn \cdot j.$$

– погрешности определения концентраций носителей заряда *p*– и *n*–типов

$$\Delta_5 = \frac{K_{бор} \cdot \sum_i Mp_i}{M_{заг}} \cdot \Delta Cp \cdot Cp_{средн} \cdot i$$

и

$$\Delta_6 = \frac{K_{фос} \cdot \sum_o Mn_i}{M_{заг}} \cdot \Delta Cn \cdot Cn_{средн} \cdot j.$$

Для погрешностей $\Delta_1 \div \Delta_6$ введены следующие обозначения:

$\Delta Cp = \Delta Cn = \Delta C_{лиг}$ [%] – погрешности определения концентрации носителей заряда в лигатуре и в загрузках *p*– и *n*–типов проводимости;

$Cp_{средн}$, $Cn_{средн}\left[ат/см^3\right]$ – средневзвешенные концентрации носителей заряда *p*– и *n*–типов:

$$Cp_{средн}=\frac{\left[\sum_i (Mp_i \cdot Cp_i)\right]}{\sum_i Mp_i};\ Cn_{средн}=\frac{\left[\sum_j (Mn_j \cdot Cn_j)\right]}{\sum_j Mn_j}.$$

С учетом приборных погрешностей взвешивания и определения концентрации носителей заряда был проведен расчет вклада каждого параметра в общую погрешность определения целевой концентрации (см. табл. 1).

Таблица 1. - Вклад погрешностей $M_{лиг}, C_{лиг}, Mp_i, Cp_i, Mn_j, Cn_j$ в погрешность $C_{цел}$

Параметр	Обозначение погрешности	Абсолютное значение погрешности, $ат/см^3$
$M_{лиг}$	Δ_1	$7{,}166\cdot10^{11}$
$C_{лиг}$	Δ_2	$4{,}137\cdot10^{13}$
Mp_i	Δ_3	$9{,}103\cdot10^{12}$
Mn_j	Δ_4	$1{,}437\cdot10^{11}$
Cp_i	Δ_5	$1{,}743\cdot10^{15}$
Cn_j	Δ_6	$1{,}165\cdot10^{13}$

Таким образом, рассчитанные погрешности определения целевой концентрации составили: $\Delta C_{цел}=1{,}8\cdot10^{15}\,ат/см^{-3}$ и $\frac{\Delta C_{цел}}{C_{цел}}=21{,}9\%$.

Литература

[1]. Standard Practice for Conversion Between Resistivity and Dopant Density //American Society for Testing and Materials, 100 Barr Harbor Dr., West Conshohocken, PA 19428.

[2]. Нашельский А.Я. Производство полупроводниковых материалов. – М.: Металлургия, 2003.

Бронников Максим Николаевич – студент КФ МГТУ им. Н.Э. Баумана. E-mail: maximbronnikoff@yandex.ru.

Тимохин Руслан Александрович – студент КФ МГТУ им. Н.Э. Баумана. E-mail: ruslantimohinbrony@gmail.ru.

Радченко Ирина Николаевна – канд. физ.-мат. наук, доцент КФ МГТУ им. Н.Э. Баумана. E-mail: rin-kf@yandex.ru.

А.К. Горбунов, К.А. Хатамова

РЕГРЕССИОННЫЕ ОЦЕНКИ

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

Найдены условия, обеспечивающее среднеквадратическую и сильную состоятельность регрессионных оценок, построенных по методу наименьших квадратов с весами.

Пусть $\varsigma(x)=\xi(x)+f(x)$ - /вещественное/ случайное поле на m - мерном евклидовом пространстве R^n, причем $\xi(x)$ - измеримое случайное поле с $\sup\limits_{x\in R^n} E[\xi(x)]^2<\infty$ и $E\xi(x)\equiv 0$, а $f(x)$ - детерминированный тренд; α *priori* известно, что f принадлежит данному r - мерному линейному пространству измеримых функций $M(1\le r<\infty)$ или, иначе говоря, $f(x)\equiv\sum\limits_{i=1}^{r}a^i f_i(x)$, где $\{f_1,...,f_r\}$ - базис в M, а a^i - неизвестные «коэффициенты регрессии». Требуется оценить тренд f по наблюдаемой реализации поля ς на множестве $A\subset R^m$.

Рассмотрим произвольную функцию $p(\cdot)$, обладающую свойствами:

$1/\ p(x)\ge 0$ 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 $<f,g>=dx\int f(x)g(x)p(x)$; если $\{f_1,...,f_r\}$ - базис в M, то $g^{ÿ}=<f_i,f_j>$; $\zeta=\{g^{ij}\}$ /матрица Грама этого базиса/ и $D=\{d^{ij}\}=\zeta^{-1}$. С вероятностью $I\varsigma(\cdot)\in L_p^2$ и для любой функции f из L_p^2 определено скалярное произведение $<\varsigma,f>=\int\varsigma(x)f(x)p(x)dx$. С функцией $p(\cdot)$ мы можем связать несмещенную оценку тренда $f(x)$: $\hat f(x)=\sum\limits_{i=1}^{r}\hat a^i f_i(x)$, где $\hat a^i=\sum\limits_{j=1}^{r}d^{ij}<\varsigma,f(x)>$ /с вероятностью $I\hat f(\cdot)$ является проекцией функции $\varsigma(\cdot)$ на пространство M/. В дальнейшем $\{p_n,n=1,2,..\}$ - последовательность функций со свойствами $I/-3/$; $\hat f_n,\hat a_n^i,g_n^{ij}$ и ζ_n строятся, как и раньше, при $p=p_n$.

Последовательность оценок $\{\hat f_n(\cdot),n=1,2,...\}$ называется состоятельной, если, каков бы ни был тренд f из M, при любом $x\in R^m$

$\lim_{n\to\infty} E[\hat{f}_n(x) - f(x)]^2 = 0$, и сильно состоятельной, если с вероятностью $I \lim_{n\to\infty} \hat{f}_n(x) \equiv f(x)$; разумеется, это равносильно состоятельности в соответствующем смысле оценок $\{\hat{a}_n^i\}$ при $i = 1,...,r$. 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:

(A) последовательность $\{p_n\}$ «не вырождает» базис $\{f_1,..., f_r\}$:

$$\lim_{n\to\infty} \frac{\det \zeta_n}{\prod_{i=1}^{r} g_n^{ii}} > 0$$

/при $r = 2$ фигурирующая здесь дробь равна квадрату синуса угла между f_1 и f_2 в L_p^2/;

(B) при любом $y \in R^m$

$$\lim_{n\to\infty} \int | p_n(x+y) - p_n(x) | dx = 0;$$

(C) существует последовательность положительных чисел $k_1, k_2,...$ такая, что $k_n p_n(x)$ - возрастающая последовательность функций;

(D) существует константа $K < \infty$ такая, что $|B_n - B_n| \le K$ 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 существует последовательность функций $\{\tilde{p}_n\}$ со свойствами $I/-3/$, (C) и (D) и константа $K' < \infty$ такие, что $p_n(x) \le K'\tilde{p}_n(x)$ при всех $x \in R^m$. Разумеется всякая последовательность $\{p_n\}$ со свойствами (C) и (D) регулярна. Регулярная последовательность обладает свойством (D).

<u>Пример 1.</u> Пусть $r(A)$ - верхняя грань радиусов шаров, содержащихся в множестве $A \subset R^m$. Если a) при любом n носитель A_n функции p_n - ограниченное выпуклое множество, b) функция p_n на A_n выпукла вверх и c) $\lim_{n\to\infty} r(A_n) = \infty$, то последовательность $\{p_n\}$ обладает свойствами (B) и (D).

<u>Пример 2.</u> Пусть, $x \in R^m$ - ограниченная функция с ограниченным носителем и со свойствами $I/-3/$, $\{\alpha_n\}$ - последовательность положительных чисел. Последовательность функций $p_n(x) = \alpha_n p(\alpha_n x)$ регулярна и обладает свойством (B), если $\alpha_n \to 0$.

<u>Пример 3.</u> Пусть $A_n = \{x = (x_1,...,x_m\} : 0 \le \mathrm{x}_i \le T_{in} j, T_{in} \uparrow \infty$ при $n \uparrow \infty (i = 1,...,\mathrm{r})$ 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 так же свойством (A) относительно любого базиса $\{f_1,..., f_r\}$, состоящего из степенных функций:

$$f_i(x) = x_1^{\alpha_{i1}}...x_m^{\alpha_{im}} \quad (\alpha_{ij\geq 0}).$$

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 при любой равномерно почти периодической функции $f(\cdot)$ при любом $\lambda \in R^m$ определен коэффициент Фурье $\hat{f}(\lambda) = \lim_{n\to\infty}\frac{1}{|\Sigma_n|}\int_{\Sigma_n} e^{=i(\lambda,x)} f(x)dx$ (Σ_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 Φ назовём множество $S_\Phi = \underset{f\in\Phi}{U} S_f$. 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_ξ означает множество точек разрыва его спектральной меры $F(\cdot): S_\xi = \{\lambda : F(i\lambda j) \neq 0\}$.

<u>Теорема 1.</u> Пусть пространство M состоит из почти периодических функций. Если поле $\xi(x)$ однородно в широком смысле и $\{p_n\}$ удовлетворяет условию (B), то условие $S_M \bigcap S_\xi = \varnothing$ 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 $S_M \bigcap S_\xi = \varnothing$ необходимо и достаточно и для сильной состоятельности $\{\hat{f}_n\}$.

Следующие ниже теоремы могут быть полезны, например, при степенных и экспоненциальных моделях тренда.

<u>Теорема 2.</u> Пусть в M имеется базис $\{f_1,..., f_r\}$ со свойствами: (A), $\lim_{n\to\infty}\int [f_i(x)]^2 p_n(x)dx > 0$ и $\lim_{n\to\infty}\int |f_i(x+y)p_n(x+y) - f_i(x)p_n(x)|dx = 0$ при любом $y \in R^m$, $i = 1,..., r$. Если поле $\xi(x)$ однородно в широком смысле, $0 \neq S_\xi$ и $\{p_n\}$ регулярна, то последовательность $\{\hat{f}_n\}$ сильно состоятельна.

<u>Теорема 3.</u> Пусть некоторый базис $\{f_1,..., f_r\}$ в M обладает свойством (A) и $\lim_{n\to\infty}\int [f_i(x)]^2 p_n(x)dx = \infty$, $(i = 1,..., r)$. Тогда последовательность $\{\hat{f}_n\}$ состоятельна; если поле $\xi(x)$ однородно в узком смысле и $\{p_n\}$ регулярна, последовательность $\{\hat{f}_n\}$ сильно состоятельна.

Аналогично теоремы справедливы и для полей на конечномерных целочисленных решетках.

Литература:

[1]. Р.Ш. Липцер, А.Н. Ширяев, Статистика случайных процессов, М. Наука 1992.

Горбунов Александр Константинович – д-р физ.-мат. наук, заведующий кафедрой "Физика" КФ МГТУ им. Н.Э. Баумана. E-mail: kf_MGTU_FIZ@mail.ru.

Хатамова Камила Алишеровна – студент КФ МГТУ им. Н.Э. Баумана. E-mail: kamillacher2014@gmail.com.

А.К. Горбунов, Е.И. Упоров

РЕФРАКЦИЯ ОПТИЧЕСКИХ ЛУЧЕЙ.

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

При прохождении светового луча через земную атмосферу, которая имеет неодинаковую плотность, происходит его искривление, называемое рефракцией. Угол φ между касательной к световому лучу в начальной или конечной точках его траектории и прямой, соединяющей эти точки, называется углом рефракции. Величина угла рефракции зависит от высот наблюдаемых объектов и приемника, от зенитного расстояния светового луча, от метеорологических условий вдоль траектории светового луча и других факторов.

В зависимости от положения объектов (звезда, планета, спутник, земная поверхность) и точки наблюдения можно выделить следующие виды рефракции:

1. Астрономическая рефракция, когда наблюдаемые объекты (звезды, спутник) находятся на большом удалении от земной атмосферы, и луч света проходит через всю ее толщину. Наблюдение ведется с поверхности Земли.
2. Земная рефракция, когда наблюдаемые объекты находятся вблизи или в самой земной атмосфере. Наблюдение ведется с поверхности Земли.
3. Фотограмметрическая рефракция, когда наблюдаемые объекты находятся на поверхности Земли, вблизи ее, а наблюдение ведется в земной атмосфере или за ее пределами. Этот вид рефракции подразделяется на вертикальную (в вертикальной плоскости), боковую и внутреннюю. Угол боковой фотограмметрической рефракции, вызываемой неоднородностью показателя преломления, располагается в плоскости, которая перпендикулярна к вертикальной плоскости и проходит через направление распространения излучения. Назовем фотограмметрической рефракцию, возникающую вследствие различной плотности воздуха внутри оптико-электронной системы и за ее пределами.

Кроме названных видов рефракции, иногда оптическую рефракцию подразделяют на регулярную и случайную в зависимости от характера отклонения оптического луча во времени вследствие изменения метеорологических условий. Под регулярной рефракцией понимают среднее значение угла рефракции, зависящей от метеорологических условий. Под случайной рефракцией подразумевают как низкочастотные (0,01 Гц и ниже), так и более быстрые ее изменения (0,1 ... 100 Гц), которые описываются теорией распространения оптических волн в турбулентной атмосфере.

На сегодняшний день наиболее исследованными являются астрономическая и земная (планетная) рефракция. Детальный обзор исследований рефракции в земной атмосфере выполнен И. г. Качинским. При развитии

способов дистанционного зондирования Земли из космоса возникает необходимость получить формулы рефракции, которые позволили бы учитывать ее влияние.

Фотограмметрическая рефракция вызывает на космическом снимке радиальное смещение $\boldsymbol{\delta r}$ точки изображения в направлении от точки надира из-за искривления световых лучей, идущих от точек земной поверхности к точкам изображения, как показано на рис. 1.

Радиальное смещение $\boldsymbol{\delta r}$ точки изображения $\boldsymbol{P}$ из-за влияния фотограмметрической рефракции можно вычислить по следующей формуле:

$$\boldsymbol{\delta r} = \frac{\left(r^2+f'^2\right)r}{2f'^2}\left[\boldsymbol{ln}(\boldsymbol{n_0}) - \boldsymbol{ln}(\boldsymbol{n_p})\right];$$

в этой формуле:

$$n_0 = 1 + \frac{n_0-1}{1-at_0} * \frac{B_0}{760},$$

$$n_p = 1 + \frac{n_0-1}{1-at_p} * \frac{B_0}{760},$$

где $\boldsymbol{n_0}$ — коэффициент преломления воздуха (при $\mathbf{0}^{\circ}\boldsymbol{C}$ и $\mathbf{760}$ мм рт. с. $\boldsymbol{n_0} = \mathbf{1,0002926}$); $\boldsymbol{a}$ — температурный градиент; $\boldsymbol{t_0}$ —температура воздуха в точке $\mathbf{0}$ (на высоте полета); $\boldsymbol{t_p}$ — температура воздуха в точке $\boldsymbol{P}$ (на земной поверхности); $\boldsymbol{B_0}$— давление в точке $\boldsymbol{O}$, $\boldsymbol{B_p}$ — давление в точке $\boldsymbol{P}$.

Смещение $\boldsymbol{\delta r}$ увеличивается пропорционально третьей степени от $\boldsymbol{r}$, т. е. по такому же закону, как из-за кривизны Земли, хотя они и имеют разные знаки.

Угол φ между теоретически прямым лучом света и касательной к действительному пути луча зависит от высоты съемки, высоты точки местности, атмосферных условий и угла между лучом и направлением на точку надира.

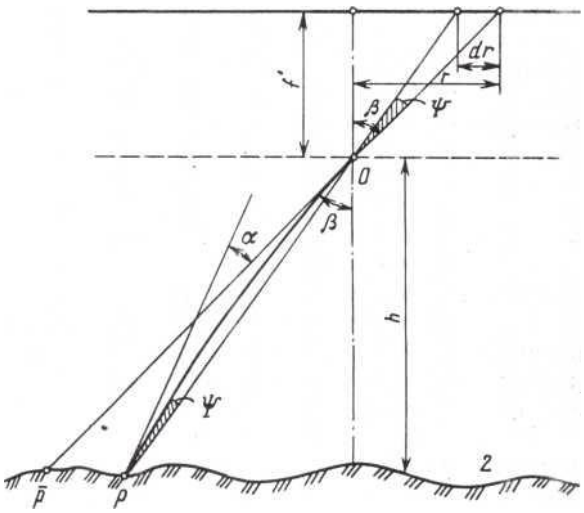


Рис. 1. Влияние атмосферной рефракции: 1-плоскость изображения, 2-поверхность Земли.

Формулы фотограмметрической рефракции, публикуемые различны-

ми авторами, могут быть приведены к виду:

$$\varphi = K_{\varphi} tg\beta,$$

в котором все переменные за исключением β принимаются постоянными для данного снимка и входят в коэффициент K_{φ}. Бертран приводит удобную для вычисления коэффициента K_{φ} формулу:

$$K_{\varphi} = \left[\frac{2410H}{H^2+6H+250} - \frac{2410A}{A^2-6A+250}\left(\frac{A}{H}\right)\right] * 10^{-6},$$

где $\boldsymbol{H}$ — высота над уровнем моря в км; $\boldsymbol{A}$ —высота точки местности над уровнем моря в км.

Значения $\boldsymbol{\varphi}$ в секундах в зависимости от $\boldsymbol{H}$ и $\boldsymbol{\beta}$ сведены в таблицы, они также могут быть введены в банк данных вычислительной машины.

Как табличные, так и рассчитанные по приближенным формулам данные (с учетом условий на Земле) могут быть использованы для оценки углов рефракции при типичных, а не конкретных атмосферных условиях. Результаты многочисленных измерений углов рефракции близки к расчетным, хотя иногда наблюдаются значительные (до нескольких угловых минут) расхождения, особенно при больших зенитных углах. Устойчивые отклонения рефракции на данном зенитном расстоянии получили название аномальной рефракции.

Список литературы.

[1]. Bach E. et al. Optoelectronic imaging spectrometers: German concepts for remote sensing //ISPRS, XVII Congress XXIX, part B 1. - Wachingtong, 1992 - Pp.138-164.

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.К. Горбунов, А.А. Кузнецова

СВЯЗЬ СТРУКТУРЫ С ИЗМЕНЕНИЕМ ЭНТРОПИИ

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

Для оценки эффективности структуры используется соотношение между средней энтропией на входе и выходе системы. Эта оценка применяется для определения сложности арифметических операций и анализа в логических схем.

Любую систему, которая обрабатывает информацию, можно рассматривать как некий фильтр, включенный между источником исходных данных и потребителем результатов обработки. Исходные данные при этом являются выходными сигналами некоторого источника сообщений 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 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 изображение F. Если это отображение взаимно однозначное, то $H_2 = H_1$, т.е. значение энтропии не изменяется. К таким системам относятся системы передачи и перекодирования 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 системах характеризует сложность отображения, и в докладе делается попытка использовать ее в качестве оценки сложности работы системы. Такая оценка отличается тем, что она 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 p_i и вероятность появления символа $y_j \in Y$ на выходе A_2 через p_j, и вычисляя значение изменения энтропии $\Delta H = H_1 - H_2$, легко убедиться, что значение ΔH зависит, кроме сложности отображения, также от распределения вероятностей p_i. Для исключения влияния распределения вероятностей символов источника A_1 значение энтропии целесообразно усреднять по всем возможным распределениям, принимая, что все распределения

равновероятные. Тогда получим на выходе источника A_1 среднюю энтропию

$$\bar{H} = -\int_0^{a_1} \cdots \int_0^{a_m} \sum_{i=1}^{m} p_i lg p_i \, dp_1 \ldots dp_m,$$

где $\sum_{i=1}^{m} p_i = 1$; $\sum_{i=1}^{m} a_i = 1$

Средняя энтропия на выходе источника A_2 по всем распределениям вероятностей входных символов

$$\bar{H} = -\int_0^{a_1} \cdots \int_0^{a_m} \sum_{j=1}^{n} p_j lg p_j \, dp_1 \ldots dp_m,$$

где $p_j = \psi_j(p_1, \ldots, p_m)$ – функция от вероятностей входных символов системы. Вид функции ψ_j определяется типом отображения.

В качестве независимой оценки средней сложности преобразования принимается минимальное возможное значение средней энтропии $\bar{H}_{2min}$. Оно достигается при отображении, разделяющем множества входных символов на два класса с наихудшим распределением – один символ в один класс, а все остальные в другой. Значение $\bar{H}_{2min}$ зависит только от количества элементов множества X:

$$\bar{H} = \sum_{s=2}^{k} \frac{1}{2^{k-s+1}} \left(\sum_{r=2}^{\infty} \frac{1}{r^3} - \frac{1}{2^3} \right) - \frac{3}{2^{k+1}},$$

где $k = \lg m$, $k \geq 2$.

Оценка средней сложности преобразования производится по отношению к сложности при наипростейшем отображении, возможном при данном количестве элементов множества X. Тогда относительная средняя сложность преобразования определяется значение $D = k \frac{\bar{H}_2}{\bar{H}_{2min}}$

В случае, когда система S реализует логическую функцию, описываемую одним конъюнктивным (или дизъюнктивным) членом, и числе переменных на выходе системы S, равном k, это выражение дает целочисленные значения $D = k$.

В случае, когда система S состоит из нескольких элементов S_t, значение D_l может быть определено для каждого элемента, при этом $D_s = \sum_{l=1}^{t} D_l \geq D$, 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 элементов используются не все из возможных преобразований. В таком случае можно ввести понятие коэффициента полезного действия системы

$$\eta = \frac{D}{D_s}$$

На основе вышеприведенного произведены:

- вычисление минимальной возможной энтропии на выходе логических схем при количестве входных переменных $k \leq 100$;
- методика определения эффективности работы комбинационных схем;
- оценка средней сложности арифметических операций.

Доклад иллюстрируется результатами перечисленных работ.

Литература:

[1]. Галлагер Р. Теория информации и надежная связь. 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.

Кузнецова Анна Андреевна – студент КФ МГТУ им. Н.Э. Баумана. E-mail: 521annakuznetsova@gmail.com.

А. К. Горбунов, Р. Р. Байманов

СЛУЧАЙНЫЕ СИГНАЛЫ В ОПТИКО – ЭЛЕКТРОННЫХ СИСТЕМАХ

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

Математический аппарат случайных функций в применении к ОЭС в основном при описании шумовых процессов в ОЭС и при описании пространственных структур объектов.

Рассмотрим важнейшее понятие и определение, относящиеся к описанию шума.

Случайный процесс, спектральные плотность мощности которого постоянна на всех частотах, называют «белым» шумом.

Как альтернативное понятие используют термин «окрашенный» шум, т.е. такой, в котором существенно различается спектральная плотность мощности в зависимости от частоты. Эти термины очень удачно подчеркивают аналогию со спектром видимого излучения (по длинам волн λ): в белом цвете содержатся все «цвета», излучения, в котором преобладают составляющие на какой-либо длине волны, дают соответствующую окраску, например синюю. По определению спектральная плотность мощности (спектр) «белого» шума изображается прямой, параллельной оси частот. Как мы знаем такому спектру соответствует сигнал в виде δ-функции, это значит, что автоковариационной функцией «белого» шума является δ-функция. Если спектральная плотность мощности «белого» шума равна $W_{(\omega)}$=N_0, то автоковариационная функция «белого» шума $K_{1.1}(\Delta x)$= $N_0\delta(0)$. Поскольку эта автоковариационная функция существует только в нуле, значение отсчетов «белого» шума λ даже при сколь угодно малых Δx некоррелированы.

«Белый» шум является физической абстракцией и реально существовать не может. Действительно, полная мощность такого процесса должна быть неограниченно большой, да и корреляционная связь между отсчетами реального процесса при малых Δx существует. Однако использование такой модели шума существенно упрощает математический анализ и вполне корректно.

Шум может иметь различные законы распределения плотности вероятности. Если, например, плотность вероятности подчиняется гауссовскому закону, то такой шум называют нормальным «белым» шумом.

«Белый» шум, проходя через звенья системы, принимает «окраску», определяемую свойствами этих звеньев в частности ограничивается по полосе частот и поэтому становится коррелированным. Распространнены модели шума, ограниченные от 0 до ω_M (низкочастотный шум) и шум в области некоторой сравнительно высокой частоты ω_0 , имеющие полосу $\Delta\omega \ll \omega_0$. В последнем случае процесс называют узкополосным.

Рассмотрим описание пространственных структур объектов с помощью аппарата случайных функций.

Зондируемая поверхность описывается распределением яркости, являющимся функцией многих переменных – пространственных координат x,y,z,длины волны λ, времени t , условий освещения, т.е. L(x,y,z, λ,t,…). Типы зондируемых поверхностей отличаются разнообразием по каждому из параметров поля яркости. В связи с этим предположить какую-либо детерминированную модель невозможно, поэтому случайное поля яркости описывают с использованием вероятных характеристик, моментов распределения и энергетического спектра, распространив его на многомерные функции.

Эти параметры и характеристики используют по отношению к пространственной информации, оставляя спектральную и временную для анализа другими методами.

Поскольку в ОЭС формируется плоское изображение, то представляется возможным использовать две линейные координаты при описании яркости объекта, т.е. использовать двумерные функции L (x, y).

Двумерное поле яркости может быть описано в вероятном смысле с помощью многомерных законов распределение яркости, которое часто бывают недоступны. Наиболее часто при описании случайного поля яркости используют моменты распределения и энергетический спектр, принимая при этом гипотезу о стационарности и эргодичности случайного поля яркости. В общем случае оптического поля при зондировании не являются стационарными, что особенно выражается при переходе от одного типа природных образований к другому. В то же время гипотеза о стационарности и эргодичности может быть принята в пределах может быть принята в пределах одного типа природных образований. В этом случае двумерная автоковариационная функция определяется как:

$$K_{1.1}(\Delta x, \Delta y) = \lim_{x\to\infty} \frac{1}{4XY} \int_{-Y}^{X} \int_{-Y}^{Y} n(x,y) n(x+\Delta x, y+\Delta y) dx dy$$

а пара преобразований Хинчина-Винера имеет вид:

$$W(\omega_{X,}\omega_{y)=} \int \int_{-\infty}^{\infty} K_{1.1}(\Delta x, \Delta y) \exp\left[-j\left(\omega_x \Delta x + \omega_y \Delta y\right)\right] d(\Delta x) d(\Delta y);$$

$$K_{1.1}(\Delta x, \Delta y) = \frac{1}{4\pi^2} \int \int_{-\infty}^{\infty} W\left(\omega_{X,}\omega_y\right) \exp\left[j\left(\omega_x \Delta x + \omega_y \Delta y\right)\right] d\omega_x d\omega_y.$$

Если поле яркости является изотопным, т.е. его статические свойства, в частности автоковариационная функция, одинаковы во всех направлениях, то одну из переменных x и y и соответственно ω_x или ω_y можно исключить из рассмотрения, что существенно упрощает математического описания.

Рассмотрим примеры описания случайного поля яркости.

В диапазонах $4-5$ и $8-14$ мкм плотность распределения яркости таких типов ландшафтов, как лес, облачный покров, городской ландшафт, близка к гауссовскому, т.е. определяется как:

$$w(L) = \frac{1}{\sqrt{2\pi}\,\sigma_L} \exp\left[-\frac{(L-\bar{L})^2}{2\sigma_L^2}\right],$$

где σ_L-среднее квадратическое отклонение яркости; $\bar{L}$ –математическое ожидание яркости.

По результатом наземных измерений получена значения σ_L яркости некоторых ландшафтов, приведены в табл.1.

В диапазонах $2-3$ и $3-4$ мкм плотность распределения яркости этих ландшафтов близка к пуассоновскому:

$$W(L) = \frac{1}{\bar{L}} \exp\left(-\frac{L}{\bar{L}}\right).$$

Ландшафт	Спектральный диапазон, мкм			
	2-3	3-4	4-5	8-14
Лес:				
ясным днем	4,1	2,5	0,5	7,3
днем при сплошной облачности	1,3	1,7	0,5	7,3
ночью	-	0,5	0,48	7,3
Облачный покров:				
частичная облачность	31,6	3.1	1.7	192
»»днем	-	-	1.7	192
»» ночью	-	-	0.9	4.5
ночью				
Городской ландшафт:				
ясным днем	11,7	5.6	3,3	42
днем при сплошной облачности	1	2	3,1	26,4
ночью	0,3	0,5	1	8

Литература:

[1]. Scater. P. *The multispectral Scanner System* // Space Remote systems.-1999-V. 24-Pp. 437- 585.

[2].

Горбунов Александр Константинович – д-р физ.-мат. наук, заведующий кафедрой "Физика" КФ МГТУ им. Н.Э. Баумана. E-mail: kf_MGTU_FIZ@mail.ru.

Байманов Роман Русланович – студент КФ МГТУ им. Н.Э. Баумана. E-mail: sufirt2@yandex.ru.

К.А. Хатамова, А.К. Горбунов

СТАТИСТИЧЕСКИЕ ВЫВОДЫ О СИГНАЛАХ

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

Решаются параметрические статические 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

$$dX(t) = a(t, X(t); \alpha, \beta)dt + \sigma(t, X(t))d\omega(t) + \int_{|x|\le 1} xq(dt, dx) + \int_{|x|>1} xp(dt, dx), \mathrm{X}(0) = X_0, (I),$$

где $a(t, x; \alpha, \beta)$ и $\sigma(\mathrm{t,x})$ - 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, α и β - случайные вещественные параметры из некоторого множества. Параметр α будем интерпретировать как некоторую неизвестную характеристику системы, а β - как параметр скачкообразной составляющей случайных помех, оказывающих воздействие на работу системы.

Предположим, что для всех допустимых значений параметров α и β существует и единственное решение уравнения (I) и это решение $X(t)$ доступно наблюдению. По имеющейся реализации процесса $X(t)$, $t \in [0, \mathrm{T}]$ требуется делать выводы о значениях параметров α и β.

В докладе будет показано, что выводы, основанные на методе максимального правдоподобия (ММП), при определенных условиях будут асимптотически оптимальны, а в отдельных случаях оказываются эффективными даже если они делаются на основании фиксированного отрезка траектории процесса $X(t)$.

2. Применение ММП опирается на формулы для плотностей мер, соответствующих марковским процессам, являющимся решениями уравнений вида (I). Пусть $\Lambda^T = \Lambda^T(\alpha, \beta; X(\cdot))$ – логарифм плотности меры $\mu^T_{\alpha,\beta}$, соответствующее решению уравнения (I), относительно «опорной» меры μ^T_0, соответствующей некоторому специально подобранному марковскому процессу. Предположим, что $\mu^T_{\alpha,\beta} \ll \mu^T_0$ для всех допустимых α и β и всех T>0 и Λ^T - дифференцируемая функция по α и β. Оказывается, что информант $(\partial\Lambda^T / \partial\alpha, \partial\Lambda^T / \partial\beta)$ представляет собой векторный стохастический

интеграл по мартингалу и важнее для рассматриваемых статистических задач его асимптотическое поведение (при $T \to \infty$) определяется поведение стохастических интегралов вида

$$\mathrm{I}_f^T = \int_0^T f(t) d\omega(t) \quad \text{и} \quad \mathrm{I}_\varphi^T = \int\int \varphi(t,x) q(dt,dx).$$

Относительно интеграла вида I_φ^T можно сформулировать следующее

<u>Утверждение I.</u> Пусть $\Pi(t,dx)dt$ - структурная функция случайной меры $q(dt,dx)$. Если при $T \to \infty$

$$b(t) = \int_0^T \int_R [\varphi(\mathrm{t},\mathrm{x})]^2 \Pi(t,dx)dt \to \infty, (2)$$

$$[b(T)]^{-\frac{3}{2}} \int_0^T \int_R |\varphi(t,x)|^3 \Pi(t,dx)dt \to 0, (3)$$

то случайная величина $[b(T)]^{-\frac{1}{2}} \mathrm{I}_\varphi^T$ асимптотически нормальна с параметрами (0,1).

Наложение в соответствии с утверждением I условий на функцию $a(t,x;\alpha,\beta), \sigma(t,x), \Pi(t,A;\beta)$ обеспечивающих асимптотическую нормальность информанта, а также некоторых дополнительных условий позволяет утверждать существование состоятельной оценки максимального правдоподобия (ОМП) неизвестного вектора (α,β), являющейся асимптотически нормальной и асимптотически эффективной. В этих условия асимптотически нормальным будет также основанный на «отношении правдободия» критерий для проверки параметрических гипотез.

3. Приведем некоторые следствия из следующих результатов: пусть $a(t,x;\alpha,\beta) = A(t,x;\beta) + \alpha a(t,x)$ и нас интересует только параметр системы α. ОМП $\hat{\alpha}_T$ параметра α будет иметь вид

$$\hat{\alpha}_T = \frac{\int_0^T \sigma^{-2}(t,X(t)) a(t,X(t)) \left\{ dX(t) - \mathrm{A}(\mathrm{t},\mathrm{X}(\mathrm{t});\beta)\,\mathrm{dt} - \int_R xp(dt,dx) \right\}}{\int_0^T \sigma^{-2}(t,X(t)) a^2(t,X(t)) dt} (4).$$

Легко видеть, что эта оценка является несмещенной. Если дополнительно известно, что при всех допустимых α процесс $X(t)$ будет эргодическим, а отношение $\frac{a(t,x)}{\sigma(t,x)}$ 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 β и пусть $\Pi(t,A;\beta)=\beta\int\limits_A \rho(t,x)\Pi_1(t,dx)$, где $\rho(t,x)>0, \Pi_1(t,dx)dt$ - структурная функция пуассоновской меры в «опорном» процессе. Тогда ОМП $\hat{\beta}_T$ неизвестного параметра β будет иметь вид

$$\hat{\beta}_T=\frac{1}{\pi(T)}\int\limits_0^T\int\limits_R \rho(dt,dx), (5)$$

где $\pi(T)=\int\limits_0^T\int\limits_R \rho(t,x)\Pi_1(t,dx)dt$.

Нетрудно проверить, что оценка (5) является несмещенной, ее дисперсия равна $\beta\pi^{-1}(T)$. Если $\pi(T)\to\infty$ при $T\to\infty$, то она состоятельна, асимптотически эффективна и распределение величины $\sqrt{\pi(T)}(\hat{\beta}_T-\beta)$ сходится слабо к нормальному закону с параметрами $(0,\beta)$.

Литература:

[1]. И.И. Гихман, А.В. Скороход, Стохастические дифференциальные уравнения, «Наукова думка», К.

Хатамова Камила Алишеровна – студент КФ МГТУ им. Н.Э. Баумана. E-mail: kamillacher2014@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.

А.К. Горбунов, Д.Н. Волчёнков

УЧЁТ АТМОСФЕРНОГО ВЛИЯНИЯ НА РЕЗУЛЬТАТЫ ДИСТАНЦИОННОГО ЗОНДИРОВАНИЯ

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

Яркость фона, обусловленного рассеянным излучением, определяется как свойствами атмосферы, так и наличием и свойствами внешних источников излучения, важнейшим из которых является Солнце. Предвычислить эту яркость в общем случае не представляется возможным.

Расчетное определение яркости фона, обусловленного собственным тепловым излучением атмосферы, возможно лишь при известных законах распределения температуры и коэффициента поглощения вдоль трассы. По закону Кирхгофа собственное тепловое излучение атмосферы наиболее интенсивным будет на длинах волн, соответствующих линиям и полосам поглощения излучения атмосферой. В условиях локального термодинамического равновесия коэффициент излучения атмосферы ε_λ не зависит от интенсивности проходящего излучения и равен $\varepsilon_\lambda = \alpha_{\lambda п}$.

Яркость фона, обусловленного собственным излучением атмосферы, определяется соотношением

$$L_{\lambda a} = \int \varepsilon_\lambda L_{\lambda чт} \exp\left[\int \boldsymbol{\alpha dl}\right] dl,$$

где $L_{\lambda чт}$ - спектральная плотность яркости излучения черного тела, имеющего температуру атмосферы; *l* - длина трассы.

Таким образом, расчетный путь учета всех рассмотренных выше факторов влияния атмосферы на результаты дистанционального зондирования весьма сложен и справедлив лишь для некоторых частных моделей атмосферы при ряде допущений. Точность таких расчетов оказывается в ряде случаев недостаточной.

Помимо расчетных способов учета влияния атмосферы существуют и экспериментальные, основанные на данных, полученных из синхронных измерений яркости отдельных участков земной поверхности или эталонов, расположенных на Земле и фотометрируемых через атмосферу ($L_{\lambda и}$), и яркости этих участков или эталонов, измеряемых непосредственно около них ($L_{\lambda об}$). По результатам этих измерений вычисляется передаточная функция атмосферы (спектральный коэффициент передачи яркости), которую В. И. Тарнопольский предложил определять как

$$K_{\lambda атм} = L_{\lambda об} / L_{\lambda и}.$$

Это выражение можно привести к виду

$$K_{\lambda атм} = (\tau_\lambda + L_{\lambda ф} / L_{\lambda об})^{-1}$$

Допустим, что участок зондируемой поверхности может быть представлен в виде двух расположенных рядом однородных зон, имеющих спектральные яркости $L_{\lambda об\,1}$ и $L_{\lambda об\,2}$. Для каждого из этих объектов:

$$L_{\lambda и1} = L_{\lambda об1}\,\tau_{\lambda 1} + L_{\lambda ф1};$$

$$L_{\lambda и2} = L_{\lambda об2}\,\tau_{\lambda 2} + L_{\lambda ф2};$$

Считая, что по условиям фотометрирования двух зон или эталонов $\tau_{\lambda 1}=\tau_{\lambda 2}=\tau_{\lambda}$ и $L_{\lambda ф1}=L_{\lambda ф2}=L_{\lambda ф}$и получим:

$$\tau_{\lambda}=\frac{L_{\lambda и1}-L_{\lambda и2}}{L_{\lambda об1}-L_{\lambda об2}};$$

$$L_{\lambda ф}=L_{\lambda и1}-L_{\lambda об1}\,\tau_{\lambda}\,.$$

Таким образом, по измеренным значениям $L_{\lambda и1}$, $L_{\lambda и2}$, $L_{\lambda об1}$ и $L_{\lambda об}$ можно расчитать предаточную функцию атмосферы, используя (1). Измеренния этих величин должны осуществляться синхронно. В качестве излучателей при синхронных измерениях используются эталоны в виде специальных зеркал и активные излучатели, например прожектор.

Рассмотрим алгоритм атмосферной коррекции, впервые предложенный Гордоном и несколько модифицируем вариант этого алгоритма, сделав ряд упрощений:

1. Не будем учитывать член, описывающий прямое солнечное излучение, отраженное от невзволнованной поверхности океана.

2. Полагаем, что коэффициент яркости океана $r(\lambda_0) = 0$, а длина волны λ_0 выбирается из ближнего инфракрасного диапазона спектра.

3. Коэффициент яркости атмосферной дымки обусловлен аддитивным вкладом релеевского и аэрозольного рассеяний, вычисляемых независимо друг от друга.

4. Предположим, что аэрозольная индикатрисса рассеяния не зависит от длины волны.

Литература

[1]. *Gordon H.B.*- Oppl. Optic., 1999, V. 38 №17.

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, М.И. Клочкова

ФЛУКТУАЦИОННЫЕ ЯВЛЕНИЯ В АТМОСФЕРЕ.

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

При распространении излучения в атмосфере происходит не только его ослабление, но имеет место и флуктуация параметров волны изучения — амплитуды и фазы. Эти флуктуации обусловлены турбулентными процессами в атмосфере, приводящими к случайному изменению показателя преломления атмосферы по направлению излучения.

Изменения показателя преломления происходит в основном из-за изменения температуры воздуха, в результате чего создаются оптические неоднородности, размеры которых изменяются от нескольких миллиметров до десятков метров.

Математическое описание процессов распространения оптического излучения через турбулентную атмосферу в настоящее время разработано для определенных простых моделей атмосферы с использованием приближенных математических приемов.

Свойство турбулентной атмосферы описываются с помощью структурных функций, предложенных А.Н.Колмогоровым. Структурная функция, представляющая пространственную дисперсию распределения преломления, определяется как

$$D_n = [n\langle r\rangle n\langle r_1\rangle]^2 = [\nabla\ n\langle r\rangle]^2$$

где $r = r_1 - r_2$ - расстояние между точками.

Размеры оптических неоднородностей характеризуются так называемым внутренним l_0 и внешним L_0 масштабами турбулентности, которые равны наименьшему и наибольшему размерам неоднородностей соответственно.

Характерный внутренний масштаб турбулентности для атмосферы составляет примерно 1 см. Внешний горизонтальный масштаб турбулентности по разным оценкам равен примерно $L_0 = 2500$ км.

При допущении, что в пределах $l_0 \leqslant r \leqslant L_0$ атмосфера обладает локальной однородностью и изотопностью, а структурная функция $D_n(r)$ выражается «законом 2/3» Колмогорова — Обухова

$$D_n(r) = C_n^2 r^{2/3},$$

где C_n^2 структурная постоянная показателя преломления, зависящая от метеоусловий и определяемая по результатам измерений. Для приземного слоя атмосферы величина ее может принимать значение от 10^{-13} до 10^{-17} $см^{-2/3}$.

Флуктуации амплитуды приходящей волны оптического излучения вследствие турбулентности атмосферы приводят к явлению, называемому мерцанием изображения. Этот термин, строго говоря, относится к зрительному восприятию излучения, но может быть распространен и на инфракрасную область спектра. Мерцание, как случайный процесс, характеризуются дисперсией флуктуации интенсивности приходящего излучения и энергетическим спектром.

Количественные оценки этих величин в большинстве работ, посвященных этому вопросу, основаны на экспериментальных данных для некоторых частных случаев. Дисперсия флуктуации интенсивности уменьшается с увеличением площади входного зрачка ОЭС, что объясняется осредняющим действием этой площади. Однако, начиная с некоторой величины входного зрачка (например, начиная с диаметра 10 см), дисперсия мерцания не уменьшается при дальнейшем увеличении площади входного зрачка. Реально удается снизить дисперсию мерцания путем увеличения площади входного зрачка не более чем на 30%. Важным является учет влияния длин волны излучения на дисперсию мерцания. В областях спектра, свободных от поглощения парами воды, уровень флуктуаций практически не зависит от длины волны.

Вблизи полос поглощения парами воды флуктуации значительно возрастают. Изменение дисперсии флуктуаций может достигать 60-70%, что существенно для ОЭС, работающих в широком спектральном диапазоне. Дисперсия мерцания зависит также от длины трассы и при допущении локальной изотропности и однородности атмосферы увеличивается пропорционально произведению $C_n^2 \; l^{11/6}$.

Временной спектр флуктуаций интенсивности излучения, проходящего через турбулентную атмосферу, также зависит от площади входного зрачка приемной ОЭС и длины трассы. Увеличение входного зрачка приводит к подавлению более высоких частот. Спектр флуктуаций расширяется при увеличении интенсивности турбулентности, смещаясь в область более низких частот при увеличении длины трассы l. Изменение оптической длины хода лучей из-за турбулентности приводит к флуктуациям фазы приходящей волны излучения, что вызывает дрожание изображения. Дрожание, как и мерцание, уменьшается с увеличением площади входного зрачка ОЭС. Дрожание изображения приводит к его размытию. Размытие изображения можно рассматривать как искажение пространственно-частотного спектра объекта, т. е. представить атмосферу как оптический элемент, имеющий некоторую двумерную передаточную функцию, называемую оптической передаточной функцией атмосферы, модуль которой называется частотно-контрастной характеристикой атмосферы. Оптическая передаточная функция турбулентной атмосферы связана со структурной функцией фазы $D_{\wp}(r)$ соотношением

$$M(w_x) = \exp[-0{,}5\, D_{\wp}(r)] \qquad (1),$$

где $w_x = r/\lambda f'$ - пространственная частота в плоскости изображения; f' - фокусное расстояние объектива; r- расстояние между двумя точками в фокальной плоскости объектива. Структурная функция фазы определяется структурной постоянной C_n^2, параметрами пучка, длиной трассы, длиной волны.

Большой диапазон значений структурной постоянной определяет различный характер функции $M(w_x)$.

В общем случае с точки зрения частотного анализа турбулентную атмосферу принято рассматривать как фильтр низких частот, область пропускания которого не выходит за пределы 10^{-2} угл. c^{-1}.

Следует отметить ряд особенностей, ограничивающих использование частотного анализа прохождения излучения через атмосферу. Оптическая придаточная функция атмосферы зависит от времени усреднения результатов измерений. Это связано с наличием как быстрых, так и медленных процессов в турбулентной атмосфере. Только при достаточном усреднении возможно разделение оптических придаточных функций атмосферы и ОЭС. Это время усреднения оценивается величинами порядка 0,05с.

Оптическая передаточная функция зависит от длины волны излучения. По данным экспериментальных измерений на горизонтальных трассах установлено, что в ИК области спектра в окнах прозрачности более высокие пространственные частоты передаются лучше, чем в видимой.

При распространении излучения по вертикальным и наклонным трассам, что характерно для ОЭС дистанционного зондирования, следует учитывать, что структурная функция C_n^2 изменяется с высотой. Предложены различные вертикальные профили C_n^2. В практических расчетах часто применяется зависимость

$$C_n^2 = C_n^2(H_0)(H/H_0)^{-4/3},$$

где H_0 -некоторая начальная высота; H- текущая высота, $C_n^2(H_0)$ - значение структурной постоянной на высоте H_0. При наблюдении в надир(по вертикальной трассе сверху вниз) структурная функция фазы сферической волны излучения имеет вид

$$D_{\wp}(r) = 0{,}73 k^2 r^{5/3} \int C_n^2(H)(1 - H/H_{max})^{5/3} dH \qquad (2),$$

где $k = 2\pi/\lambda$. H_{max} - длина трассы или для вертикальных трасс-высота. Подстановка формулы (2) в (1) дает выражение для оптической передаточной функции турбулентной атмосферы при визировании в надир.

Отметим, что при визировании в зенит (снизу вверх, объект вверху) пространственное разрешение хуже, чем при наблюдении в зенит. Это объясняется тем, что при наблюдении в зенит атмосфера, имеющая наибольшую турбулентность в приземном слое, взаимодействует в плоской волной (расстояние между объектом наблюдения и турбулентными слоями

велико), в то время как при наблюдении в надир атмосфера взаимодействует со сферической волной. Величина структурной функции фазы меньше для сферической волны.

Литература:

[1]. Итакура Ю. Физические основы дистанционного зондирования М., «Мир»,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.

Клочкова Мария Игоревна – студент КФ МГТУ им. Н.Э. Баумана. E-mail: oleola10@yandex.ru.

СОДЕРЖАНИЕ

СЕКЦИЯ 11.
ПРОБЛЕМЫ СОВРЕМЕННОЙ ТВЕРДОТЕЛЬНОЙ ЭЛЕКТРОНИКИ 3

Дмитриев В.Г., Баскаков Е.Б., Зайончковский В.С.
Исследование рельефа поверхности тонких пленок металлов, нанесенных методом магнетронного распыления на пластины монокристаллического кремния 4

Баскаков Е.Б., Зайончковский В.С., Быков П.А.
Образование кластеров трещин в приграничных областях тонких пленок сплавов Fe-Cr-Co 7

Стрельченко С.С., Козлов Н.Ю.
Термодинамическая модель легирования арсенида галлия бериллием 9

СЕКЦИЯ 12.
ЗАЩИТА ИНФОРМАЦИИ..... 14

Горбачев О.О.
Анализ методов выявления мошеннических интернет - магазинов 15

Чевычелов А.В.
Топологии информационно-вычислительных систем: достоинства, недостатки 23

Бухман В.Л., Савкин М.К.
Гомоморфные системы и их применение 36

Пискарева С.А., Савкин М.К.
Методы обфускации графа потока управления 39

Хмельницкая Е.Е., Москвина А.А.
Обеспечение целостности и доступности в MS SQL Server 42

Ершов И.Д., Савкин М.К.
Построение платформы для автоматического тестирования модифицированного программного кода 45

Бланк Я.А., Савкин М.К.
Применение неявных предикатов для обфускации программного кода... 49

Самбуров Н.В., Мазин А.В.
Способы борьбы с переотражениями от обтекателя при измерениях потерь..... 53

Синотова О.В.
Шпионское программное обеспечение (Spyware) 58

СЕКЦИЯ 13.
ДИНАМИКА, ПРОЧНОСТЬ И НАДЕЖНОСТЬ ПОДЪЕМНО-ТРАНСПОРТНЫХ, СТРОИТЕЛЬНЫХ, ДОРОЖНЫХ МАШИН И ОБОРУДОВАНИЯ 61

Борискина Н.М., Витушкина Е.А., Подгорбунский В.А.
Анализ средней скорости транспортирования в качающемся вибрационном конвейере..... 62

Шубин А.А., Витчук П.В., Федоров А.В.
Варианты комплексной модернизации шпалоподбойки 64

Шубин А.А.А., Гулиев И.М.
Динамика развития пассажирских канатные дорог на ОАО “Курорт Эльбрус” 68

Заярный С.Л., Васильев Н.С.
Исследования свойств эквивалентного слоя сформированного дискретным контактным взаимодействием элементов тягового привода 72

Рыжкова А.Д., Шубин А.А., Борискина Н.М.
К вопросу об устойчивости специализированного комплекса при работе по восстановлению и ремонту контактной сети 75

Витчук П.В., Федоров А.В.
Основные методы увеличения тяговой способности канатоведущего шкива лифта 79

Сероштан В.И., Гаах Т.В., Аракелян А.С.
Повреждения и неисправности лифтовых установок в Калужском регионе..... 82

Витчук П.В., Рыжов К.С.
Повышение эффективности использования рабочего пространства лифтами 85

Раевский В.А., Федоров А.В.
Разработка конструкции муфты дисковой полужесткой для вентиляторов горячего дутья 90

Борискина Н.М., Барышникова О.О., Подгорбунский В.А., Луцкая С.А.
Разработка программного комплекса расчета редуктора 92

Подгорбунский В.А., Ермоленко В.А.
Расчет болтового соединения подвесной опоры блока..... 95

Болтнева А.С., Ермоленко В.А., Артемьев А.В.
Расчет механизма передвижения тележки с канатной тягой для стенда бросковых испытаний грузов 99

Заярный С.Л., Фомин А.А.
Расчет соединения деталей методом конечных разностей с учетом податливости эквивалентного контактного слоя..... 104

Ермоленко В.А., Лесовский И.О., Потапов М.В., Матвеев Д.И.
Расчёт тормозного устройства подъёмной платформы 109
Сероштан В.И., Ермоленко В.А., Подгорбунский В.А.
Технические средства диагностирования грузоподъемных машин (ГПМ) с применением метода акустической эмиссии 114
Сибилев Н.П., Косенко А.А.
Уменьшение массы металлоконструкций грузоподъемных машин 118
СЕКЦИЯ 14.
ФИЗИКО-МАТЕМАТИЧЕСКИЕ И ХИМИКО-ТЕХНОЛОГИЧЕСКИЕ ПРОБЛЕМЫ ПРОЕКТИРОВАНИЯ СЛОЖНЫХ ТЕХНИЧЕСКИХ СИСТЕМ 121
Горбунов А.К., Прокофьев М.Л.
Декодирование циклических кодов 122
Горбунов А.К., Бланк Я.А.
Диссипация атмосферы 125
Горбунов А.К., Белова Т.С.
Задача об источнике 128
Горбунов А.К., Салова В.Ю.
Коды Рида - Соломона 130
Горбунов А.К., Потапова А.Н.
Количество информации и энтропия 133
Горбунов А.К., Анпилогов А.В.
Модель метода случайного баланса 136
Горбунов А.К., Абдурахманов А.Ш.
Наилучшие оценки сверху для основных параметров физических сигналов 139
Рыскина Е.Б., Горбунов А.К.
Некоторые свойства q-ичных кодов 142
Горбунов А.К., Филиппова М.С.
Обеляющие фильтры 145
Горбунов А.К., Абдурахманов А.Ш.
Оптимальное деквантование 148
Прокофьев М.Л., Горбунов А.К.
Оптимальные измерения параметров квантовых сигналов 150
Горбунов А.К., Корабельникова Ю.В.
Оценивание информационных функционалов 152
Горбунов А.К., Анпилогов А.В.
Оценка верности передачи информации 155

Кузнецова А.К., Горбунов А.К.
Оценка дискретных последовательностей 158
Горбунов А.К., Коваленко Е.А.
Параметры и характеристики излучателей в области отраженного излучения 161
Машина А.Р., Горбунов А.К.
Параметры и характеристики излучателей в области собственного излучения 165
Радченко И.Н., Мельникова Е.В.
Подготовка исходного сырья для роста слитков мультикристалического кремния 169
Горбунов А.К., Баранникова И.В.
Поле излучения как источник информации 171
Горбунов А.К., Корабельникова Ю.В.
Псевдотемпературы 174
Горбунов А.К., Клочкова М.И.
Рассеяние излучения в атмосфере 177
Радченко И.Н., Ягур А.Ю., Иванова П.М.
Расчет компонентов лигатуры для роста мультикристаллического кремния 180
Бронников М.Н., Тимохин Р.А., Радченко И.Н.
Расчет сложных погрешностей на примере определения погрешности исходного состава для роста кремниевых кристаллов 183
Горбунов А.К., Хатамова К.А.
Регрессионные оценки 186
Горбунов А.К., Упоров Е.И.
Рефракция оптических лучей 190
Горбунов А.К., Кузнецова А.А.
Связь структуры с изменением энтропии 193
Горбунов А.К., Байманов Р.Р.
Случайные сигналы в оптико-электронных системах 196
Хатамова К.А., Горбунов А.К.
Статистические выводы о сигналах 199
Горбунов А.К., Волчёнков Д.Н
Учет атмосферного влияния на результаты дистанционного зондирования 202
Горбунов А.К., Клочкова М.И.
Флуктуационные явления в атмосфере 204
СОДЕРЖАНИЕ 208

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

Материалы
Региональной 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 08.04.2015.
Формат 60x90/16. Печать офсетная. Бумага офсетная. Гарнитура «Таймс».
Печ. л. 13,25. Усл. п. л. 12,32. Тираж 50 экз. Заказ № 96

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

ISBN 978-5-7038-4164-8