



ЗЕЛЕННЫЕ ТЕХНОЛОГИИ
В ТЕЛЕКОММУНИКАЦИЯХ

ЗЕЛЕННЫЕ ТЕХНОЛОГИИ В ТЕЛЕКОММУНИКАЦИЯХ

МЕТОДЫ И ТЕХНОЛОГИИ ОЦЕНИВАНИЯ ЭНЕРГОПОТРЕБЛЕНИЯ (ЭП) И ЭНЕРГО- ЭФФЕКТИВНОСТИ (ЭЭ) ТЕЛЕКОММУНИКАЦИЙ

- ИССЛЕДОВАНИЕ ЭЭ АППАРАТНЫХ СРЕДСТВ С РЕЖИМОМ ENERGY EFFICIENT ETHERNET
- ИССЛЕДОВАНИЕ ЭП ЭЛЕМЕНТОВ БЕСПРОВОДНЫХ СИСТЕМ
- ИССЛЕДОВАНИЕ ЭЭ ПОМЕХОУСТОЙЧИВОГО КОДИРОВАНИЯ

МЕТОДЫ И ТЕХНОЛОГИИ СНИЖЕНИЯ ЭНЕРГОПОТРЕБЛЕНИЯ И ПОВЫШЕНИЯ ЭНЕРГОЭФФЕКТИВНОСТИ ТЕЛЕКОММУНИКАЦИЙ

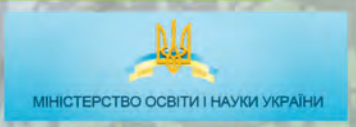
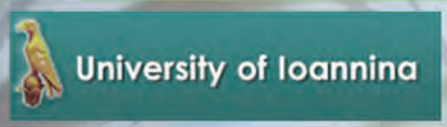
- ИССЛЕДОВАНИЕ ЭНЕРГОЭФФЕКТИВНОГО УПРАВЛЕНИЯ ТРАФИКОМ В СЕТЯХ С ДИНАМИЧЕСКОЙ МАРШРУТИЗАЦИЕЙ
- ИССЛЕДОВАНИЕ ЭЭ СИСТЕМ СВЯЗИ С РАЗЛИЧНЫМИ ВИДАМИ МОДУЛЯЦИИ
- ИССЛЕДОВАНИЕ ЭЭ СИСТЕМ СВЯЗИ В УСЛОВИЯХ ЗАМИРАНИЙ
- ИССЛЕДОВАНИЕ ЭП МОБИЛЬНОГО ПОЛЬЗОВАТЕЛЬСКОГО УСТРОЙСТВА
- ИССЛЕДОВАНИЕ СПЕКТРАЛЬНОЙ ЭФФЕКТИВНОСТИ СИСТЕМЫ СОТОВОЙ ПОД-ВИЖНОЙ РАДИОСВЯЗИ

Практикум

GREEN TELECOMMUNICATION TECHNOLOGIES



2015



GREEN TELECOMMUNICATION
TECHNOLOGIES



**Министерство образования и науки Украины
Национальный аэрокосмический университет
им. Н.Е. Жуковского «Харьковский авиационный институт»**

**Пашинцев В. П., Калмыков И. А., Линец Г. И., Жук А. П.,
Мезенцева О. С., Яковлев С. В., Кузьминов Ю. В.**

Зеленые технологии в телекоммуникациях

Green Telecommunication Technologies

Под редакцией Харченко В. С. и Мезенцевой О. С.

Проект
530270-TEMPUS-1-2012-1-UK-TEMPUS-JPCR
Green Computing and Communication

2015

УДК 004: 504(045)

3-48

Викладені матеріали практичної частини навчального курсу «Зелені технології у телекомунікаціях» (Green Telecommunication Technologies), підготовленого для магістрантів в рамках проекту TEMPUS «Green Computing and Communication» (530270-TEMPUS-1-2012-1-UK-TEMPUS-JPCR).

Курс присвячений методологічним і практичним аспектам розроблення енергоефективних і енергозберігаючих інфокомунікаційних систем і мереж, оптимізованих шляхом використання методів структурного і параметричного синтезу, ідентифікації та контролю, що забезпечують зниження витрат енергії на передачу одиниці об'єму трафіка у сучасних мережних додатках. Розглядаються концепції, загальні принципи, методи, технології проектування, розроблення й обслуговування енергоефективних і енергозберігаючих інфокомунікаційних систем і мереж. Приводиться навчальна програма курсу, дається опис лабораторних робіт, методичні рекомендації щодо самостійного вивчення матеріалу курсу.

Для магістрантів і аспірантів університетів, що навчаються за напрямками «Інфокомунікаційні технології та системи зв'язку», «Електроніка, радіотехніка і системи зв'язку», при вивченні методів та засобів розробки енергоефективних і енергозберігаючих систем і мереж зв'язку, а також може бути корисно для викладачів відповідних курсів.

Рецензенти: Серков Александр Анатольевич, доктор технических наук, профессор, заслуженный изобретатель Украины, заведующий кафедрой систем информации Национального технического университета "Харьковский политехнический институт";

Iosif Androulidakis, Dr, Head of Network Operations Center, University of Ioannina, Greece.

3-48 **Зеленые технологии в телекоммуникациях. Практикум.** / Пашинцев В. П., Калмыков И. А., Линец Г. И., Жук А. П., Мезенцева О. С., Яковлев С. В., Кузьминов Ю. В. - Под ред. Харченко В. С. и Мезенцевой О. С. – Харьков: Национальный аэрокосмический университет имени Н.Е. Жуковского «ХАИ». - 2015. – 247 с.

ISBN 978-966-1681-17-9

Изложены материалы практической части учебного курса «Зеленые технологии в телекоммуникациях» (Green Telecommunication Technologies), подготовленного для магистрантов в рамках проекта TEMPUS «Green Computing & Communication» (530270-TEMPUS-1-2012-1-UK-TEMPUS-JPCR).

Курс посвящен методологии и практике разработки энергоэффективных и энергосберегающих инфокоммуникационных систем и сетей оптимизированных посредством использования методов структурного и параметрического синтеза, идентификации и контроля, обеспечивающих снижение затрат энергии на передачу единицы объема трафика в современных сетевых приложениях. Рассматриваются концепции, общие принципы, методы, технологии проектирования, разработки и обслуживания энергоэффективных и энергосберегающих инфокоммуникационных систем и сетей. Приводится учебная программа курса, даются описание лабораторных работ, методические рекомендации по самостоятельному изучению материала курса.

Для магистрантов и аспирантов университетов, обучающихся по направлениям «Электроника и телекоммуникации», «Инфокоммуникационные технологии и системы связи», «Электроника, радиотехника и системы связи», при изучении методов и средств разработки энергоэффективных и энергосберегающих систем и сетей связи, а также может быть полезно для преподавателей, соответствующих курсов.

Библ. – 80 наименований, рисунков – 100, таблиц – 22.

Рекомендовано к изданию Ученым советом Национального аэрокосмического университета им. Н.Е. Жуковского «Харьковский авиационный институт» (протокол № 1 от 2 сентября 2015 года).

УДК 004: 504(045)

ISBN 978-966-1681-17-9

© Пашинцев В. П., Калмыков И. А., Линец Г. И., Жук А. П., Мезенцева О. С., Яковлев С. В., Кузьминов Ю. В.

© Национальный аэрокосмический университет имени Н.Е. Жуковского «ХАИ», 2015

СПИСОК СОКРАЩЕНИЙ

- АБ – алгоритмический блок
АРУ – автоматическая регулировка усиления
АТ – амплитудная телеграфия
БПС – беспроводные персональные сети
БС – базовая станция
БЧХ-код – код Боуза-Чоудхури-Хоквингема
ГИП – графический интерфейс пользователя
ГКС – генератор копии сигналов
КВ – короткие (декаметровые) волны
МКФ – многотактные кодовые фильтры
МС – мобильная станция
ОФТ – относительная фазовая телеграфия
РИ – радиointерфейс
РРВ – распространение радиоволн
СВ – средние (гектометровые) волны
СК – сверточный код
СМ – смеситель
ССПР – сеть сотовой подвижной радиосвязи
УКВ – ультракороткие волны
УПЧ – усилитель промежуточной частоты
УРЧ – усилитель радиочастоты
ФТ – фазовая телеграфия
ЦП – центральный процессор
ЧТ – частотная телеграфия
- 3GPP – 3rd Generation Partnership Project
API – Application Programming Interface
AS – Autonomous system
AWGN – Additive white Gaussian noise
BR – Backbone routers
CAM – Content Addressable Memory
CMOS – Complementary Metal-Oxide-Semiconductor

DSP – Digital Signal Processor
ECMP – Equal Cost Multi Paths
ECMP – Equal Cost Multi Paths
GSM – Global System for Mobile Communications
HSPA – High Speed Packet Access
ID – Identifier
IEEE – Institute of Electrical and Electronics Engineers
IP – Internet Protocol
LAN – Local Area Network
LSA – Link-state advertisement
LTE – Long-Term Evolution
MAC – Media Access Control
OSPF – Open Shortest Path First
PHY – Physical Layer
PSK – Phase-shift keying
RF – Radio Frequency
SMD – Surface Mounted Device
UART – Universal Asynchronous Receiver-Transmitter
WiMAX – Worldwide Interoperability for Microwave Access
WPAN – Wireless Personal Area Network
EEE – Energy Efficient Ethernet

ВВЕДЕНИЕ

В пособии изложены материалы практической части (лабораторных работ) учебной дисциплины «ЗЕЛЕННЫЕ ТЕХНОЛОГИИ В ТЕЛЕКОММУНИКАЦИЯХ» («GREEN TELECOMMUNICATION TECHNOLOGIES»), подготовленного для магистрантов в рамках проекта TEMPUS «Green Computing & Communication» (530270-TEMPUS-1-2012-1-UK-TEMPUS-JPCR), который выполняется консорциумом университетов и академических организаций Европейского Союза (Великобритания, Греция, Италия, Словакия), Украины и России, начиная с 2012 г. Лабораторные работы посвящены освоению методологии построения и практики исследования «зеленых» энергоэффективных телекоммуникационных систем.

В пособии приводятся описания лабораторных работ, в приложениях изложены учебная программа курса и методические рекомендации по самостоятельному изучению материалов курса.

Первый раздел посвящен модулю учебного курса «Модели, методы, технологии и инструментальные средства, используемые в телекоммуникациях для оценивания параметров энергосбережения и энергоэффективности» и содержит теоретический материал и описание порядка выполнения трех лабораторных работ. Данные лабораторные работы направлены на исследование энергоэффективности аппаратных средств с режимом Energy Efficient Ethernet, энергопотребления элементов беспроводных систем связи в зависимости от интенсивности трафика и структуры сети, а также энергетической эффективности системы связи с использованием помехоустойчивого кодирования.

Второй раздел посвящен модулю учебного курса «Методы повышения энергоэффективности и энергосбережения, используемые при проектировании телекоммуникационных сетей и систем» и содержит теоретический материал и описание порядка выполнения пяти лабораторных работ. В нем описаны лабораторные работы, в которых магистрантам необходимо исследовать энергоэффективное управление трафиком в сетях с динамической маршрутизацией, энергетическую эффективность систем связи с различными видами модуляции, энергетическую

эффективность систем связи в условиях замираний, энергоэффективность мобильных станций сетей беспроводного доступа от изменения характеристик потока данных, а также спектральную эффективность систем подвижной радиосвязи от параметров соты.

Рисунки, таблицы и формулы для удобства нумеруются в пределах каждого раздела.

Пособие может быть использовано аспирантами, обучающимися по направлениям энергоэффективных телекоммуникационных систем, а также может быть полезно преподавателям, ведущим занятия по соответствующим дисциплинам.

Пособие подготовлено зав. кафедрой инфокоммуникаций Северо-Кавказского федерального университета (Ставрополь, Российская Федерация), д-ром техн. наук, доц. Линцом Г. И., доц. каф. инфокоммуникаций, канд. техн. наук, доц. Яковлевым С. В. (лабораторная работа 2), проф. кафедры информационной безопасности автоматизированных систем, д-ром техн. наук, проф. Пашинцевым В. П. (лабораторные работы 5 и 6), проф. кафедры информационной безопасности автоматизированных систем, д-ром техн. наук, проф. Калмыковым И. А. (лабораторная работа 3), проф. кафедры организации и технологии защиты информации, канд. техн. наук, проф. Жуком А. П. совместно с аспирантами Гавришевым А. А. и Бурмистровым В. А. (лабораторные работы 7, 8 и приложение В), доц. кафедры организации и технологии защиты информации, канд. техн. наук Кузьминовым Ю. В. (лабораторные работы 1 и 4). Введение, приложения А, Б подготовлены зам. директора Института информационных технологий и телекоммуникаций, канд. физ.-мат. наук, доц. Мезенцевой О. С. Общее редактирование проведено докт. техн. наук, проф. Харченко В.С. (Национальный аэрокосмический университет им. Н.Е. Жуковского «ХАИ») и Мезенцевой О. С.

Авторы выражают благодарность рецензентам, коллегам по проекту, сотрудникам кафедр за ценную информацию, методическую помощь и конструктивные предложения, которые высказывались в процессе обсуждения данного пособия.

АНОТАЦІЯ

УДК 004: 504(045)

П22

Зелені технології в телекомунікаціях. Практикум.
/ Пашинцев В.П., Калмиков І.А., Линец Г.І., Жук О.П., Мезенцева О.С.,
Яковлев С.В., Кузьмінов Ю.В. - За ред. Харченко В. С. і Мезенцевої О.С.
– Харків: Національний аерокосмічний університет ім. М.Є. Жуковського
«ХАІ». - 2015. – 247 с.

Викладені матеріали практичної частини навчального курсу «Зелені технології у телекомунікаціях» (Green Telecommunication Technologies), підготовленого для магістрантів в рамках проекту TEMPUS «Green Computing & Communication» (530270-TEMPUS-1-2012-1-UK-TEMPUS-JPCR).

Курс присвячений методологічним і практичним аспектам розроблення енергоефективних і енергозберігаючих інфокомунікаційних систем і мереж, оптимізованих через використання методів структурного і параметричного синтезу, ідентифікації та контролю, що забезпечують зниження витрат енергії на передачу одиниці об'єму трафіка у сучасних мережних додатках. Розглядаються концепції, загальні принципи, методи, технології проектування, розроблення й обслуговування енергоефективних і енергозберігаючих інфокомунікаційних систем і мереж. Приводиться навчальна програма курсу, дається опис лабораторних робіт, методичні рекомендації щодо самостійного вивчення матеріалу курсу.

Для магістрантів і аспірантів університетів, що навчаються за напрямками «Електроніка і телекомунікації», «Інфокомунікаційні технології та системи зв'язку», «Електроніка, радіотехніка і системи зв'язку», при вивченні методів та засобів розробки енергоефективних і енергозберігаючих систем і мереж зв'язку, а також може бути корисно для викладачів відповідних курсів.

Бібл. – 80 найменувань, рисунків – 100, таблиць – 22.

ЗМІСТ

ПЕРЕЛІК СКОРОЧЕНЬ	3
ВСТУП.....	5
1. МОДЕЛІ, МЕТОДИ, ТЕХНОЛОГІЇ ТА ІНСТРУМЕНТАЛЬНІ ЗАСОБИ, ВИКОРИСТОВУВАНІ У ТЕЛЕКОМУНІКАЦІЯХ ДЛЯ ОЦІНЮВАННЯ ПАРАМЕТРІВ ЕНЕРГОЗБЕРЕЖЕННЯ Й ЕНЕРГОЕФЕКТИВНОСТІ	7
1.1. Лабораторна робота № 1. Дослідження енергоефективності апаратних засобів з режимом Energy Efficient Ethernet	7
1.2. Лабораторна робота № 2. Дослідження енергоспоживання елементів бездротових систем зв'язку у залежності від інтенсивності трафіка і структури мережі	23
1.3. Лабораторна робота № 3. Дослідження енергоефективності системи зв'язку з використанням перешкодостійкого кодування .	41
2. МЕТОДИ ПІДВИЩЕННЯ ЕНЕРГОЕФЕКТИВНОСТІ Й ЕНЕРГОЗБЕРЕЖЕННЯ, ВИКОРИСТОВУВАНІ ПРИ ПРОЕКТУВАННІ ТЕЛЕКОМУНІКАЦІЙНИХ МЕРЕЖ І СИСТЕМ	77
2.1. Лабораторна робота № 4. Дослідження енергоефективного управління трафіком у мережах з динамічною маршрутизацією ..	77
2.2. Лабораторна робота № 5. Дослідження енергоефективності систем зв'язку з різними видами модуляції	88
2.3. Лабораторна робота № 6. Дослідження енергоефективності систем зв'язку в умовах завмирань	121
2.4. Лабораторна робота та № 7. Дослідження залежності енергоспоживання мобільного пристрою користувача від зміни характеристик вхідного потоку даних.....	168
2.5. Лабораторна робота № 8. Дослідження залежності загальної спектральної ефективності системи сотового рухомого радіо зв'язку від параметрів соти	181
ЛІТЕРАТУРА.....	204
ДОДАТОК А. НАВЧАЛЬНА ПРОГРАМА.....	216
ДОДАТОК Б. МЕТОДИЧНІ РЕКОМЕНДАЦІЇ ЩОДО САМОСТІЙНОЇ РОБОТИ	232
ДОДАТОК В. ЧИСЕЛЬНІ РОЗРАХУНКИ ЗНАЧЕНЬ ФОРМУЛИ ЕРЛАНГА.....	239

ABSTRACT AND CONTENT

UDC 004: 504(045)

Green Telecommunication Technologies. Practical training.

/ Pashintsev V. P., Kalmykov I. A., Linets G. I., Zhuk A. P., Mezentseva O. S., Yakovlev S. V., Kuzminov Y. V. - Ed. Kharchenko V. S. and Mezentseva O. S. – Kharkiv: National Aerospace University «KhAI». – 2015. – 247 p.

ISBN

Practical part materials of training course «Green Telecommunication Technologies» which was prepared for TEMPUS «Green Computing & Communication» (530270-TEMPUS-1-2012-1-UK-TEMPUS-JPCR) masters are posted.

This training course is about the methodology and development practice of energy-saving and energy-efficient communication systems and networks optimized by using methods of structural and parametric synthesis, identification and control which ensure the reduction of energy consumption for the transfer of a unit volume of traffic in modern network applications. Concepts of common principles, methods, technology, design, development and maintenance of energy efficiency and energy saving communication systems and networks are viewed. Course study program, a description of laboratory works, methodological support for self-study course materials are presented.

This training course is intended for masters and post-graduate students of «Infocommunication Technologies and communication systems», «Electronics, radio and communication systems». Also it can be used in the study of methods and tools for the development of energy efficiency and energy saving systems and networks, and may be useful for teachers with training on relevant courses.

Ref. – 80 items, figures – 100, tables - 22

CONTENT

ABBREVIATION	3
INTRODUCTION	5
1. REVIEW OF GREEN TECHNOLOGIES IN TELECOMMUNICATIONS	7
1.1. Lab 1. Study of energy efficiency hardware with Energy Efficient Ethernet mode	7
1.2. Lab 2. The study of energy consumption by elements of wireless communication systems, depending on data flow and network structure	23
1.3. Lab 3. Study of energy efficiency due to the use of error-correcting coding	41
2. MODELS, METHODS, TECHNOLOGIES AND TOOLS USED IN TELECOMMUNICATIONS FOR ESTIMATING THE METRICS OF ENERGY SAVING AND ENERGY EFFICIENCY	77
2.1. Lab 4. Study of energy-efficient data flow management in networks with dynamic routing	77
2.2. Lab 5. Study of energy efficiency of communication systems with different types of modulation	88
2.3. Lab 6. Study of energy efficiency of communication systems under fading	121
2.4. Lab 7. Study of dependence of the energy efficiency of mobile stations of wireless access networks by changing the metrics of the data flow	168
2.5. Lab 8. Study of dependence of the spectral efficiency of mobile radio systems on the metrics of the cell	181
REFERENCES	204
APPENDIX A. Course program	216
APPENDIX B. Tutorial recommendations	232
APPENDIX C. Values of Erlang formula numerical calculations	239

ПРИЛОЖЕНИЕ А. УЧЕБНАЯ ПРОГРАММА

DESCRIPTION OF THE MODULE

TITLE OF THE MODULE	Code
MSc4. Technologies of Green Communication MM3.5 Green telecommunication technologies	

Teacher(s)	Department
Coordinating: Prof. Pashintsev Vladimir Others: Prof. Linets Gennady, Prof. Zhuk Aleksandr, lecturer Mezentceva Oksana, lecturer Yakovlev Sergey, lecturer Kuzminov Yuri, lecturer Malsugenov Oleg	Institute of Information Technologies and Telecommunications

Study cycle	Level of the module	Type of the module
Master	A	Full-time tuition

Form of delivery	Duration	Language(s)
Full-time tuition	One semester	Russian/English

Prerequisites	
Prerequisites: Mathematic analysis; discrete mathematics; fundamentals of network construction and data transmission systems; computer systems and system analysis; hardware and software of telecommunication networks and systems; technologies and protocols of modern data networks	Co-requisites (if necessary):

Credits of the module	Total student workload	Contact hours	Individual work hours
3	90	36	54

**Aim of the module (course unit):
competences foreseen by the study programme**

Acquisition of theoretical competencies and skills of design, development and maintenance of energy-efficient and energy-aware telecommunication networks, the use of mathematical apparatus for modeling and optimization of telecommunication infrastructure in accordance with modern green technologies.

Learning outcomes of module (course unit)	Teaching/learning methods	Assessment methods
At the end of course, the successful student will be able to: 1. Define the basic principles of telecommunication networks optimization through the usage of the following methods: structural, parametric synthesis, identification and control, to ensure the reduction of energy consumption per unit information volume transfer in modern network applications.	Interactive lectures, Learning in laboratories, Just-in-Time Teaching	Module Evaluation Questionnaire
2. Identify the optimization methods for the performance and efficiency of the modern telecommunication networks and systems.	Interactive lectures, Learning in laboratories, Just-in-Time Teaching	Module Evaluation Questionnaire
3. Develop and create the modern telecommunication networks based on energy-efficient and energy-saving technologies.	Interactive lectures, Learning in laboratories, Just-in-Time Teaching	Module Evaluation Questionnaire
4. Be able to use infrastructure optimization methods of the modern telecommunication systems and networks	Interactive lectures, Learning in laboratories,	Module Evaluation Questionnaire

in energy efficient telecommunication systems and networks designing.	Just-in-Time Teaching	
5. Be able to assess the completeness and effectiveness of the use of applied green technologies in telecommunication networks.	Interactive lectures, Learning in laboratories, Just-in-Time Teaching	Module Evaluation Questionnaire

Themes	Contact work hours							Time and tasks for individual work	
	Lectures	Consultations	Seminars	Practical work	Laboratory work	Placements	Total contact work	Individual work	Tasks
1. Review of Green technologies in telecommunications 1.1. Green technologies in telecommunications general concept and terminology. 1.2. Energy efficient technologies in communication networks and energy-saving technologies of telecommunication nodes. 1.3 Analysis of the modern telecommunication systems and networks standards as energy saving and energy efficiency. 1.4. Review of existing Green solutions in telecommunications and features of their application.	4						4	6	
2. Models, methods, technologies and tools used in telecommunications for estimating the metrics of energy	8			8			16	24	

<p>saving and energy efficiency 2.1. Models and methods for metrics estimating energy saving and energy efficiency in telecommunications. 2.2. Measuring and estimating technologies of energy saving and efficiency metrics in telecommunications. 2.3. Evaluation aspects tools of Green technologies.</p>								
<p>3. Energy efficiency and energy saving increasing methods for designing of telecommunication networks and systems 3.1. Algorithms and methods for optimization of the telecommunications networks topological infrastructure. 3.2. Optimization of transport flows basis on the dynamic routing protocols. 3.3. The topological infrastructure optimization of the backbone transport network based on the load balancing between nodes. 3.4. Constructions technology of energy efficient wireless data links. 3.5. Energy efficiency improving of the communication trunk channels and telecommunication networks active equipment. 3.6. Protocols optimization for the management and transmission of proprietary information in telecommunication networks.</p>	6			10	16	24		
<p>Total</p>	18			18	36	54		

Assessment strategy	Weight in %	Deadlines	Assessment criteria
Lecture activity, including fulfilling special self-tasks	10	7,14	<p>85% – 100% Outstanding work, showing a full grasp of all the questions answered.</p> <p>70% – 84% Perfect or near perfect answers to a high proportion of the questions answered. There should be a thorough understanding and appreciation of the material.</p> <p>60% – 69% A very good knowledge of much of the important material, possibly excellent in places, but with a limited account of some significant topics.</p> <p>50% – 59% There should be a good grasp of several important topics, but with only a limited understanding or ability in places. There may be significant omissions.</p> <p>45% – 49% Students will show some relevant knowledge of some of the issues involved, but with a good grasp of only a minority of the material. Some topics may be answered well, but others will be either omitted or incorrect.</p> <p>40% – 44% There should be some work of some merit. There may be a few topics answered partly or there may be scattered or perfunctory knowledge across a larger range.</p> <p>20% – 39% There should be substantial deficiencies, or no answers, across large parts of the topics set, but with a little relevant and correct material in places.</p> <p>0% – 19% Very little or nothing that is correct and relevant.</p>
Learning in laboratories	30	7,14	<p>85% – 100% An outstanding piece of work, superbly organised and presented, excellent achievement of the objectives, evidence of original thought.</p> <p>70% – 84% Students will show a</p>

		<p>thorough understanding and appreciation of the material, producing work without significant error or omission. Objectives achieved well. Excellent organisation and presentation.</p> <p>60% – 69% Students will show a clear understanding of the issues involved and the work should be well written and well organised. Good work towards the objectives.</p> <p>The exercise should show evidence that the student has thought about the topic and has not simply reproduced standard solutions or arguments.</p> <p>50% – 59% The work should show evidence that the student has a reasonable understanding of the basic material. There may be some signs of weakness, but overall the grasp of the topic should be sound. The presentation and organisation should be reasonably clear, and the objectives should at least be partially achieved.</p> <p>45% – 49% Students will show some appreciation of the issues involved. The exercise will indicate a basic understanding of the topic, but will not have gone beyond this, and there may well be signs of confusion about more complex material. There should be fair work towards the laboratory work objectives.</p> <p>40% – 44% There should be some work towards the laboratory work objectives, but significant issues are likely to be neglected, and there will be little or no appreciation of the complexity of the problem.</p> <p>20% – 39% The work may contain some correct and relevant material, but most issues are neglected or are covered</p>
--	--	---

			incorrectly. There should be some signs of appreciation of the laboratory work requirements. 0% – 19% Very little or nothing that is correct and relevant and no real appreciation of the laboratory work requirements.
Module Evaluation Quest	60	8,16	The score corresponds to the percentage of correct answers to the test questions

Author	Year of issue	Title	No of periodical or volume	Place of printing. Printing house or internet link
Compulsory literature				
Linets G.I.	2014	Methods of structural and parametric synthesis, identification and management of transport telecommunication networks for maximum performance		Stavropol, «Fabula»
Linets G., Budko P., Muhin A., Fomin L.	2011	Efficiency, cost and quality of information and telecommunication systems. Optimization Methods		St. Petersburg Military Academy of Telecommunications
Pashintsev V., Solchatov M., Gahov R.	2006	The influence of the ionosphere on the characteristics of space data		Moscow: Phisimatlit

		transmission systems		
Linets I., Fomin L., Govorova S., Medenets V.	2014	Building Multi-networks Based on Functional Transformations Traffic	pp. 41-45	«Information and Communication Technologies», Vol. 12, No. 4. Samara: Limited Company «Airprint»
Matthew Forshaw	2015	Energy-efficient Checkpointing in High-throughput Cycle-stealing Distributed Systems	Electronic Notes in Theoretical Computer Science, Volume 310, 5 January 2015, Pages 65-906	Electronic Notes in Theoretical Computer Science
Mitsuaki Kakemizu, Akira Chugo	2009	Approaches to Green Networks	pp. 396-403	FUJITSU Sci. Tech. J., Vol.45, No. 4.
Aruna Prem Bianzino, Luca Chiaraviglio, Marco Mellia, Jean-Louis Rougier	2012	Green Distributed Algorithm for energy-efficient IP backbone networks	pp. 3219–3232	Computer Networks, Volume 56, Issue 14.
Aruna Prem Bianzino, Claude Chaudet, Federico Larroca, Dario Rossi, Jean-Louis Rougier	2010	Energy-Aware Routing: a Reality Check	pp. 1452–1457	IEEE Globecom 2010 Workshop on Green Communication
Giuseppe Lami, Luigi Buglione,	2013	Derivation of Green Metrics for Software	Software Process	Publisher Springer Berlin

Fabrizio Fabbrini			Improvement and Capability Determination Communications in Computer and Information Science Volume 349, 2013, pp 13-24 13th International Conference, SPICE 2013, Bremen, Germany, June 4-6, 2013. Proceedings	Heidelberg http://link.springer.com/chapter/10.1007%2F978-3-642-38833-0_2
Mohammad Dastbaz, Colin Pattinson, Babak Akhgar	2015	Green Information Technology	Print Book	Publisher Morgan Kaufmann http://store.elsevier.com/product.jsp?isbn=9780128016718&pageName=search
Additional literature				
R. Bolla, R. Bruschi, F. Davoli, A. Ranieri.	2009	Performance constrained power consumption optimization in distributed network equipment	pp. 49-54	1-st Workshop on Green Communications, GreenCom '09
Bianzino, A.P., Chaudet, C., Rossi, D.,	2012	A Survey of Green Networking Research	pp. 3-20	Communications Surveys & Tutorials, IEEE, Vol. 14, Issue

Rougier, J.				1
Linets I., Krivolapov R., Kovalev M., Chaika S.	2013	Total load balancing algorithm based on the specified load factor of communication channels transport networks	pp. 266-270	Collected papers of XXXII All-Russian science-technical conference «Problems of efficiency and safety of complex technical and information systems» (Serpukhov 27 –28 June 2013) part 5. – Serpukhov: Branch of Military Academy of the Strategic Missile Forces.
M. N. Jambli, A. Tully	2007	Cross-Layer Design for Information Dissemination in Wireless Sensor Networks: State-of-the-Art and Research Challenges.	Technical report series. University of Newcastle upon Tyne, March, 2007.	http://www.cs.ncl.ac.uk/publications/trs/papers/1011.pdf
T. Logenthiran, D. Srinivasan	2011	Intelligent Management of Distributed Storage Elements in a Smart Grid	IEEE Ninth International Conference on Power Electronics and Drive Systems (PEDS). – Singapore, 2011. pp. 855 –	http://www.ncl.ac.uk/eee/research/publication/196835

			860.	
M. Aliberti	2010	Green networking and energy efficiency: the KNX case. In: KNX Scientific Conference 2010 (Pamplona, Spagna, 4-5 November 2010)	Proceedings, article n. 2. KNX association, 2010.	http://www.isti.cnr.it/research/publications.php? year=2010
M. Aliberti	2011	Green networking in home and building automation systems through power state switching	Consumer Electronics Transactions on (Volume:57, Issue: 2)	Publisher: IEEE http://ieeexplore.ieee.org/xpl/articleDetails.jsp?arnumber=5955178
P. Barsocchi, A. Crivello, E. Ferro, L. Fortunati, F. Mavilia, G. Riolo	2014	Smart buildings: an energy saving and control system in the CNR Research Area, Pisa	ERCIM NEWS, vol. 99, pp. 51 – 52. Special issue: Software quality. 25 years Ercim: challenges fo ICTS. Ercim, 2014.	http://puma.isti.cnr.it/rmydownload.php?filename=cnr.isti/cnr.isti/2014-A0-031/2014-A0-031.pdf
Juk A., Cherniak Z., Sazonov V.	2008	The feasibility of using ensembles of orthogonal signals with variable dimensions in the CDMA system	pp. 16-19.	Information and Communication Technologies, Vol. 6, No. 4, 2008.
Pashintsev V., Malofey O., Juk A.,	2010	Development of the theory of synthesis and methods of		Moscow. Phismatlit, 2010. – 196 pp.

Samus M., Gaichuk D., Sazonov V.		formation of ensembles of discrete signals for advanced radio systems of different wavebands		
A.A. Orekhov, A.P. Plakhteev, G.V. Skripkin	2014	Building energy-efficient sensor networks	All-Ukraine Scientific conference "Integrated Computer Technologies in machinery IKTM-2014" Harkiv: National University of Aerospace "Harkiv Aviation Institute" Vol. 2. – pg. 205	Harkiv: National University of Aerospace "Harkiv Aviation Institute"
TELECOMMUNICATION STANDARDIZATION SECTOR OF ITU	2014	ITU-T L.1340 Series L: construction, installation and protection of cables and other elements of outside plant. Informative values on the energy efficiency of telecommunication equipment.		Switzerland Geneva, 2014
TELECOMMUNICATION STANDARDIZATION SECTOR	2014	ITU-T L.1500 Series L: construction, installation and		Switzerland Geneva, 2014

OF ITU		protection of cables and other elements of outside plant. Framework for information and communication technologies and adaptation to the effects of climate change.		
TELECOMMUNICATION STANDARDIZATION SECTOR OF ITU	2011	ITU-T L.1400 Series L: construction, installation and protection of cables and other elements of outside plant. Overview and general principles of methodologies for assessing the environmental impact of information and communication technologies.		Switzerland Geneva, 2011
TELECOMMUNICATION STANDARDIZATION SECTOR OF ITU	2014	ITU-T L.1300 Series L: construction, installation and protection of cables and other elements of outside plant. Best practices for green data centres.		Switzerland Geneva, 2014
TELECOMMUNICATION STANDARDIZATION SECTOR OF ITU	2014	ITU-T L.1310 Series L: construction, installation and protection of cables		Switzerland Geneva, 2014

		and other elements of outside plant. Energy efficiency metrics and measurement methods for telecommunication equipment.		
TELECOMMUNICATION STANDARDIZATION SECTOR OF ITU	2014	ITU-T L.1320 Series L: construction, installation and protection of cables and other elements of outside plant. Energy efficiency metrics and measurement for power and cooling equipment for telecommunications and data centres.		Switzerland Geneva, 2014
European Telecommunications Standards Institute	2013	ETSI TS 102 706 Environmental Engineering (EE). Measurement method for energy efficiency of wireless access network equipment.		European Telecommunications Standards Institute, 2013
European Telecommunications Standards Institute	2011	ETSI TS 203 215 Environmental Engineering (EE); Measurement Methods and Limits for Power Consumption in Broadband Telecommunication Networks		European Telecommunications Standards Institute , 2011

		Equipment		
European Telecommunications Standards Institute	2008	ETSI TS 102 533 Environmental Engineering (EE) Measurement Methods and limits for Energy Consumption in Broadband Telecommunication Networks Equipment		European Telecommunications Standards Institute, 2008
European Telecommunications Standards Institute	2012	ETSI EN 301 575 Environmental Engineering (EE); Measurement method for energy consumption of Customer Premises Equipment (CPE)		European Telecommunications Standards Institute, 2012
European Telecommunications Standards Institute	2013	ETSI ES 203 184 Environmental Engineering (EE); Measurement Methods for Power Consumption in Transport Telecommunication Networks Equipment		European Telecommunications Standards Institute, 2013
European Telecommunications Standards Institute	2013	ETSI ES 203 136 Environmental Engineering (EE); Measurement methods for energy efficiency of router and switch equipment		European Telecommunications Standards Institute, 2013

European Telecommunications Standards Institute	2014	ETSI ES 201 554 Environmental Engineering (EE); Measurement method for Energy efficiency of Mobile Core network and Radio Access Control equipment		European Telecommunications Standards Institute, 2014
European Telecommunications Standards Institute	2009	ETSI TR 105 174-4 Access, Terminals, Transmission and Multiplexing (ATTM); Broadband Deployment - Energy Efficiency and Key Performance Indicators.		European Telecommunications Standards Institute, 2009

ПРИЛОЖЕНИЕ Б. МЕТОДИЧЕСКИЕ РЕКОМЕНДАЦИИ ПО САМОСТОЯТЕЛЬНОЙ РАБОТЕ

Пояснения к учебной программе

Самостоятельную работу над дисциплиной «**Зеленые технологии в телекоммуникациях**» («**GREEN TELECOMMUNICATION TECHNOLOGIES**») следует начинать с изучения учебной программы, которая приведена в данном Приложении. Эта программа включает следующие элементы.

Объект изучения – энергоэффективные и энергосберегающие телекоммуникационные системы и сети оптимизированные посредством использования методов структурного и параметрического синтеза, идентификации и контроля, обеспечивающие снижение затрат энергии на передачу единицы объема трафика в современных сетевых приложениях.

Предмет изучения – концепции, общие принципы, методы, технологии проектирования, разработки и обслуживания энергоэффективных и энергосберегающих телекоммуникационных систем и сетей, математический аппарат для моделирования и оптимизации телекоммуникационной инфраструктуры в соответствии с современными экологическими технологиями.

Требования к исходным знаниям и навыкам, которые необходимо иметь перед началом изучения:

- базовые знания в области современных информационных технологий и телекоммуникационных систем и сетей;
- принципы и методы системного анализа;
- математический анализ;
- дискретная математика;
- основы построения сетей и системы передачи данных;
- аппаратное и программное обеспечение сетей и систем;
- технологии и протоколы современных сетей передачи данных.

Целью изучения дисциплины является приобретение студентами теоретических знаний и навыков проектирования, разработки и обслуживания энергоэффективных и энергосберегающих телекоммуникационных сетей, использование математического аппарата для моделирования и оптимизации телекоммуникационной инфраструктуры в соответствии с современными экологическими технологиями.

В результате ее изучения обучаемые должны научиться:

- проводить анализ получаемой информации и синтезировать на основе этого качественно новую информацию;
- правильно формулировать, четко и ясно задавать вопросы и соответственно уметь грамотно отвечать на поставленные вопросы;
- мыслить креативно и критически;
- предпринимать исследовательские действия и оценивать получаемые результаты с использованием качественных и количественных показателей;
- формулировать возможные практические решения проблемы, эффективно использовать время и доступные ресурсы для достижения целей дисциплины;
- демонстрировать гибкость, адаптируемость и инициативу, умение выражать свое мнение;
- совершенствовать и развивать свой интеллектуальный и общекультурный уровень;
- реализовывать способность к самостоятельному обучению новым методам исследования, к изменению научного и научно-производственного профиля своей профессиональной деятельности;
- применять перспективные методы исследования и решения профессиональных задач на основе знания мировых тенденций развития телекоммуникационных сетей и систем;
- выбирать методы и разрабатывать алгоритмы энергоэффективного управления телекоммуникационными сетями и системами.

Вследствие изучения дисциплины магистры обязаны:

1) теоретический компонент:

– получить базовые представления о сфере проблем, связанных с вопросами в области построения энергоэффективных телеком-муникационных сетей и систем;

– иметь представление о принципах использования методов структурного и параметрического синтеза, идентификации и контроля для оптимизации телекоммуникационных систем и сетей;

– иметь представление о методах оптимизации производительности и эффективности современных телекоммуникационных сетей и систем;

2) познавательный компонент:

– знать фундаментальные положения в области «зеленых» технологий;

– знать основные принципы оптимизации телекоммуникационных сетей посредством использования методов структурного и параметрического синтеза, идентификации и контроля, для обеспечения снижения затрат энергии на передачу единицы объема информации в современных сетевых приложениях;

– знать методы оптимизации производительности и эффективности функционирования современных телекоммуникационных сетей и систем;

3) практический компонент:

– уметь использовать методы оптимизации инфраструктуры современных телекоммуникационных систем и сетей при создании энергоэффективных телекоммуникационных систем и сетей;

– уметь оценивать полноту и эффективность использования прикладных экологических технологий в телекоммуникационных сетях.

Структура и содержание модулей. Дисциплина включает три модуля:

МОДУЛЬ 1. ОБЗОР ЭКОЛОГИЧЕСКИХ ТЕХНОЛОГИЙ В ТЕЛЕКОММУНИКАЦИЯХ

Лекции

ТЕМА 1. Общая концепция и терминология экологических технологий в телекоммуникациях.

ТЕМА 2. Энергоэффективные технологии в сетях связи и энергосберегающие технологии телекоммуникационных узлов.

ТЕМА 3. Анализ стандартов современных телекоммуникационных систем и сетей с позиций обеспечения энергосбережения и энергоэффективности.

ТЕМА 4. Обзор существующих экологических решений в телекоммуникациях и особенности их применения.

МОДУЛЬ 2. МОДЕЛИ, МЕТОДЫ, ТЕХНОЛОГИИ И ИНСТРУМЕНТАЛЬНЫЕ СРЕДСТВА, ИСПОЛЬЗУЕМЫЕ В ТЕЛЕКОММУНИКАЦИЯХ ДЛЯ ОЦЕНИВАНИЯ ПАРАМЕТРОВ ЭНЕРГОСБЕРЕЖЕНИЯ И ЭНЕРГОЭФФЕКТИВНОСТИ

Лекции

ТЕМА 1. Модели и методы оценивания параметров энергосбережения и энергоэффективности в телекоммуникациях.

ТЕМА 2. Технологии измерения и оценивания параметров энергосбережения и энергоэффективности в телекоммуникациях.

ТЕМА 3. Инструментальные средства оценивания аспектов экологических технологий.

Лабораторные работы

Лабораторная работа № 1. Исследование энергоэффективности аппаратных средств с режимом Energy Efficient Ethernet (2 часа).

Цель работы: приобретение навыков выполнения операций настройки и управления коммутируемой сетью с использованием технологии Energy Efficient Ethernet.

Лабораторная работа № 2. Исследование энергопотребления элементов беспроводных систем связи в зависимости от интенсивности трафика и структуры сети (4 часа).

Цель работы: Целью является получение навыков исследования энергопотребления элементов беспроводных систем связи.

Лабораторная работа № 3. Исследование энергетической эффективности системы связи с использованием помехоустойчивого кодирования (2 часа).

Цель работы: приобретение навыков исследования влияния параметров помехоустойчивых кодов на повышение энергетической эффективности систем связи.

МОДУЛЬ 3. МЕТОДЫ ПОВЫШЕНИЯ ЭНЕРГОЭФФЕКТИВНОСТИ И ЭНЕРГОСБЕРЕЖЕНИЯ, ИСПОЛЬЗУЕМЫЕ ПРИ ПРОЕКТИРОВАНИИ ТЕЛЕКОММУНИКАЦИОННЫХ СЕТЕЙ И СИСТЕМ

Лекции

ТЕМА 1. Алгоритмы и методы оптимизации топологической инфраструктуры телекоммуникационных сетей.

ТЕМА 2. Оптимизация транспортных потоков на основе протоколов динамической маршрутизации.

ТЕМА 3. Оптимизация топологической инфраструктуры опорной транспортной сети на основе балансировки нагрузки между узлами.

ТЕМА 4. Технологии построения энергоэффективных беспроводных каналов передачи данных.

ТЕМА 5. Повышение энергоэффективности магистральных каналов связи и активного оборудования телекоммуникационных сетей.

ТЕМА 6. Оптимизация протоколов управления и передачи служебной информации в телекоммуникационных сетях.

Лабораторные работы

Лабораторная работа № 4. Исследование энергоэффективного управления трафиком в сетях с динамической маршрутизацией (2 часа).

Цель работы: приобретение навыков выполнения операций управления распределенными сетями на базе протокола OSPF с использованием энергоэффективного изменения весовых коэффициентов каналов связи.

Лабораторная работа № 5. Исследование энергетической эффективности систем связи с различными видами модуляции (2 часа).

Цель работы: приобретение навыков исследования энергетической эффективности систем связи при когерентном и некогерентном приеме дискретных сигналов с различными видами модуляции на фоне аддитивного белого гауссовского шума.

Лабораторная работа № 6. Исследование энергетической эффективности систем связи в условиях замираний (2 часа).

Цель работы: приобретение навыков исследования энергетической эффективности систем связи при когерентном и некогерентном приеме дискретных сигналов с различными видами модуляции в канале с замираниями и аддитивным белым гауссовским шумом.

Лабораторная работа № 7. Исследование зависимости энергоэффективности мобильных станций сетей беспроводного доступа от изменения характеристик потока данных (2 часа).

Цель работы: приобретение навыков оценки энергоэффективности мобильных станций сетей беспроводного доступа в зависимости от изменения характеристик обслуживаемого потока данных.

Лабораторная работа № 8. Исследование зависимости спектральной эффективности систем подвижной радиосвязи от параметров соты (2 часа).

Цель работы: приобретение навыков оценки спектральной эффективности систем подвижной радиосвязи от используемых характеристик сот.

Методы оценки

Экзамен (100 %).

По окончании курса проводится 90-минутный экзамен.

Отчетность по дисциплине включает отчеты по каждому виду практического занятия, а также экзамен, который включает типовые вопросы и задачи.

Подготовка к занятиям и экзамену

При подготовке к лабораторным занятиям следует обратить внимание на уяснение целей и задач (учебных или теоретических, практических и исследовательских) и знаний, которые нужны для их выполнения. При выполнении разработок и исследований необходимо строго руководствоваться описанием и попытаться найти ответы на вопросы, приведенные в конце каждой работы. Особое внимание следует уделить формулировке выводов по результатам исследований при оформлении отчета. При самостоятельной подготовке к лабораторным работам важно правильно спланировать как свою индивидуальную, так и коллективную работу, организовать отбор и анализ необходимой литературы, подготовку к ответам на вопросы, приведенные в каждом разделе.

Следует обратить внимание на вопросы, вынесенные на самостоятельное изучение, которые приводятся в программе и уточняются преподавателем.

ПРИЛОЖЕНИЕ В. ЧИСЛЕННЫЕ РАСЧЕТЫ ЗНАЧЕНИЙ
ФОРМУЛЫ ЭРЛАНГА

Таблица В.1. Вероятности потерь на полностью доступном пучке

N	Y, Эрл													
	P _B													
	1.0%	1.2%	1.5%	2%	3%	5%	7%	10%	15%	20%	30%	40%	50%	
1	.0101	.0121	.0152	.0204	.0309	.0526	.0753	.111	.176	.250	.429	.667	1.00	
2	.153	.168	.190	.223	.282	.381	.470	.595	.796	1.00	1.45	2.00	2.73	
3	.455	.489	.535	.602	.715	.899	1.06	1.27	1.60	1.93	2.63	3.48	4.59	
4	.868	.922	.992	1.09	1.26	1.52	1.75	2.05	2.50	2.95	3.39	5.02	6.50	
5	1.36	1.43	1.52	1.66	1.88	2.22	2.50	2.88	3.45	4.01	5.19	6.60	8.44	
6	1.91	2.00	2.11	2.28	2.54	2.96	3.30	3.76	4.44	5.11	6.51	8.19	10.4	
7	2.50	2.60	2.74	2.94	3.25	3.74	4.14	4.67	5.46	6.23	7.86	9.80	12.4	
8	3.13	3.25	3.40	3.63	3.99	4.54	5.00	5.60	6.50	7.37	9.21	11.4	14.3	
9	3.78	3.92	4.09	4.34	4.75	5.37	5.88	6.55	7.55	8.52	10.6	13.0	16.3	
10	4.46	4.61	4.81	5.08	5.53	6.22	6.78	7.51	8.62	9.68	12.0	14.7	18.3	
11	5.16	5.32	5.54	5.84	6.33	7.08	7.69	8.49	9.69	10.9	13.3	16.3	20.3	
12	5.88	6.05	6.29	6.61	7.14	7.95	8.61	9.47	10.8	12.0	14.7	18.0	22.2	
13	6.61	6.80	7.05	7.40	7.97	8.83	9.54	10.5	11.9	13.2	16.1	19.6	24.2	
14	7.35	7.56	7.82	8.20	8.80	9.73	10.5	11.5	13.0	14.4	17.5	21.2	26.2	
15	8.11	8.33	8.61	9.01	9.65	10.6	11.4	12.6	14.1	15.6	18.9	22.9	28.2	
16	8.88	9.11	9.41	9.83	10.5	11.5	12.4	13.5	15.2	16.8	20.3	24.5	30.2	
17	9.65	9.89	10.2	10.7	11.4	12.5	13.4	14.5	16.3	18.0	21.7	26.2	32.2	
18	10.4	10.7	11.0	11.5	12.2	13.4	14.3	15.5	17.4	19.2	23.1	27.8	34.2	
19	11.2	11.5	11.8	12.3	13.1	14.3	15.3	16.6	18.5	20.4	24.5	29.5	36.2	
20	12.0	12.3	12.7	13.2	14.0	15.2	16.3	17.6	19.6	21.6	25.9	31.2	38.2	
21	12.8	13.1	13.5	14.0	14.9	16.2	17.3	18.7	20.8	22.8	27.3	32.8	40.2	
22	13.7	14.0	14.3	14.9	15.8	17.1	18.2	19.7	21.9	24.1	28.7	34.5	42.1	
23	14.5	14.8	15.2	15.8	16.7	18.1	19.2	20.7	23.0	25.3	30.1	36.1	44.1	
24	15.3	15.6	16.0	16.6	17.6	19.0	20.2	21.8	24.2	26.5	31.6	37.8	46.1	

N	Y, Эрл													
	P _B													
	1.0%	1.2%	1.5%	2%	3%	5%	7%	10%	15%	20%	30%	40%	50%	
25	16.1	16.5	16.9	17.5	18.5	20.0	21.2	22.8	25.3	27.7	33.0	39.4	48.1	
26	17.0	17.3	17.8	18.4	19.4	20.9	22.2	23.9	26.4	28.9	34.4	41.1	50.1	
27	17.8	18.2	18.6	19.3	20.3	21.9	23.2	24.9	27.6	30.2	35.8	42.8	52.1	
28	18.6	19.0	19.5	20.2	21.2	22.9	24.2	26.0	28.7	31.4	37.2	44.4	54.1	
29	19.5	19.9	20.4	21.0	22.1	23.8	25.2	27.1	29.9	32.6	38.6	46.1	56.1	
30	20.3	20.7	21.2	21.9	23.1	24.8	26.2	28.1	31.0	33.8	40.0	47.7	58.1	
31	21.2	21.6	22.1	22.8	24.0	25.8	27.2	29.2	32.1	35.1	41.5	49.4	60.1	
32	22.0	22.5	23.0	23.7	24.9	26.7	28.2	30.2	33.3	36.3	42.9	51.1	62.1	
33	22.9	23.3	23.9	24.6	25.8	27.7	29.3	31.3	34.4	37.5	44.3	52.7	64.1	
34	23.8	24.2	24.8	25.5	26.8	28.7	30.3	32.4	35.6	38.8	45.7	54.4	66.1	
35	24.6	25.1	25.6	26.4	27.7	29.7	31.3	33.4	36.7	40.0	47.1	56.0	68.1	
36	25.5	26.0	26.5	27.3	28.6	30.7	32.3	34.5	37.9	41.2	48.6	57.7	70.1	
37	26.4	26.8	27.4	28.3	29.6	31.6	33.3	35.6	39.0	42.4	50.0	59.4	72.1	
38	27.3	27.7	28.3	29.2	30.5	32.6	34.4	36.6	40.2	43.7	51.4	61.0	74.1	
39	28.1	28.6	29.2	30.1	31.5	33.6	35.4	37.7	41.3	44.9	52.8	62.7	76.1	
40	29.0	29.5	30.1	31.0	32.4	34.6	36.4	38.8	42.5	46.1	54.2	64.4	78.1	
41	29.9	30.4	31.0	31.9	33.4	35.6	37.4	39.9	43.6	47.4	55.7	66.0	80.1	
42	30.8	31.3	31.9	32.8	34.3	36.6	38.4	40.9	44.8	48.6	57.1	67.7	82.1	
43	31.7	32.2	32.8	33.8	35.3	37.6	39.5	42.0	45.9	49.9	58.5	69.3	84.1	
44	32.5	33.1	33.7	34.7	36.2	38.6	40.5	43.1	47.1	51.1	59.9	71.0	86.1	
45	33.4	34.0	34.6	35.6	37.2	39.6	41.5	44.2	48.2	52.3	61.3	72.7	88.1	
46	34.3	34.9	35.6	36.5	38.1	40.5	42.6	45.2	49.4	53.6	62.8	74.3	90.1	
47	35.2	35.8	36.5	37.5	39.1	41.5	43.6	46.3	50.6	54.8	64.2	76.0	92.1	
48	36.1	36.7	37.4	38.4	40.0	42.5	44.6	47.4	51.7	56.0	65.6	77.7	94.1	
49	37.0	37.6	38.3	39.3	41.0	43.5	45.7	48.5	52.9	57.3	67.0	79.3	96.1	
50	37.9	38.5	39.2	40.3	41.9	44.5	46.7	49.6	54.0	58.5	68.5	81.0	98.1	
51	38.8	39.4	40.1	41.2	42.9	45.5	47.7	50.6	55.2	59.7	69.9	82.7	100.1	
52	39.7	40.3	41.0	42.1	43.9	46.5	48.8	51.7	56.3	61.0	71.3	84.3	102.1	
53	40.6	41.2	42.0	43.1	44.8	47.5	49.8	52.8	57.5	62.2	72.7	86.0	104.1	

N	Y, Эрл													
	P _B													
	1.0%	1.2%	1.5%	2%	3%	5%	7%	10%	15%	20%	30%	40%	50%	
54	41.5	42.1	42.9	44.0	45.8	48.5	50.8	53.9	58.7	63.5	74.2	87.6	106.1	
55	42.4	43.0	43.8	44.9	46.7	49.5	51.9	55.0	59.8	64.7	75.6	89.3	108.1	
56	43.3	43.9	44.7	45.9	47.7	50.6	52.9	56.1	61.0	65.9	77.0	91.0	110.1	
57	44.2	44.8	45.7	46.8	48.7	51.5	53.9	57.1	62.1	67.2	78.4	92.6	112.1	
58	45.1	45.8	46.6	47.8	49.6	52.6	55.0	58.2	63.3	68.4	79.8	94.3	114.1	
59	46.0	46.7	47.5	48.7	50.6	53.6	56.0	59.3	64.5	69.7	81.3	96.0	116.1	
60	46.9	47.6	48.4	49.6	51.6	54.6	57.1	60.4	65.6	70.9	82.7	97.6	118.1	
61	47.9	48.5	49.4	50.6	52.5	55.6	58.1	61.8	66.8	72.1	84.1	99.3	120.1	
62	48.8	49.4	50.3	51.5	53.5	56.6	59.1	62.6	68.0	73.4	85.5	101.0	122.1	
63	49.7	50.4	51.2	52.5	54.5	57.6	60.2	63.7	69.1	74.6	87.0	102.6	124.1	
64	50.6	51.3	52.2	53.4	55.4	58.6	61.2	64.8	70.3	75.9	88.4	104.3	126.1	
65	51.5	52.2	53.1	54.4	56.4	59.6	62.3	65.8	71.4	77.1	89.8	106.0	128.1	
66	52.4	53.1	54.0	55.3	57.4	60.6	63.3	66.9	72.6	78.3	91.2	107.6	130.1	
67	53.4	54.1	55.0	56.3	58.4	61.6	64.4	68.0	73.8	79.6	92.7	109.3	132.1	
68	54.3	55.0	55.9	57.2	59.3	62.6	65.4	69.1	74.9	80.8	94.1	111.0	134.1	
69	55.2	55.9	56.9	58.2	60.3	63.7	66.4	70.2	76.1	82.1	95.5	112.6	136.1	
70	56.1	56.8	57.8	59.1	61.3	64.7	67.5	71.3	77.3	83.3	96.9	114.3	138.1	
71	57.0	57.8	58.7	60.1	62.3	65.7	68.5	72.4	78.4	84.6	98.4	115.9	140.1	
72	58.0	58.7	59.7	61.0	63.2	66.7	69.6	73.5	79.6	85.8	99.8	117.6	142.1	
73	58.9	59.6	60.6	62.0	64.2	67.7	70.6	74.6	80.8	87.0	101.2	119.3	144.1	
74	59.8	60.6	61.6	62.9	65.2	68.7	71.7	75.6	81.9	88.3	102.7	120.9	146.1	
75	60.7	61.5	62.5	63.3	66.2	69.7	72.7	76.7	83.1	89.5	104.1	122.6	148.0	
76	61.7	62.4	63.4	64.9	67.2	70.8	73.8	77.8	84.2	90.8	105.5	124.3	150.0	
77	62.6	63.4	64.4	65.8	68.1	71.8	74.8	78.9	85.4	92.0	106.9	125.9	152.0	
78	63.5	64.3	65.3	66.8	69.1	72.8	75.9	80.0	86.6	93.3	108.4	127.6	154.0	
79	64.4	65.2	66.3	67.7	70.1	73.8	76.9	81.1	87.7	94.5	109.8	129.3	156.0	
80	65.4	66.2	67.2	68.7	71.1	74.8	78.0	82.2	88.9	95.7	111.2	130.9	158.0	
81	66.3	67.1	68.2	69.6	72.1	75.8	79.0	83.3	90.1	97.0	112.6	132.6	160.0	
82	67.2	68.0	69.1	70.6	73.0	76.9	80.1	84.4	91.2	98.2	114.1	134.3	162.0	

Приложение В. Численные расчеты значений формулы Эрланга

N	Y, Эрл													
	P _B													
	1.0%	1.2%	1.5%	2%	3%	5%	7%	10%	15%	20%	30%	40%	50%	
83	68.2	69.0	70.1	71.6	74.0	77.9	81.1	85.5	92.4	99.5	115.5	135.9	164.0	
84	69.1	69.9	71.0	72.5	75.0	78.9	82.2	86.6	93.6	100.7	116.9	137.6	166.0	
85	70.0	70.9	71.9	73.5	76.0	79.9	83.2	87.7	94.7	102.0	118.3	139.3	168.0	
86	70.9	71.8	72.9	74.5	77.0	80.9	84.3	88.8	95.9	103.2	119.8	140.9	170.0	
87	71.9	72.7	73.8	75.4	78.0	82.0	85.3	89.9	97.1	104.5	121.2	142.6	172.0	
88	72.8	73.7	74.8	76.4	78.9	83.0	86.4	91.0	98.2	105.7	122.6	144.3	174.0	
89	73.7	74.6	75.7	77.3	79.9	84.0	87.4	92.1	99.4	106.9	124.0	145.9	176.0	
90	74.7	75.6	76.7	78.3	80.9	85.0	88.5	93.1	100.6	108.2	125.5	147.6	178.0	
91	75.6	76.5	77.6	79.3	81.9	86.0	89.5	94.2	101.7	109.4	126.9	149.3	180.0	
92	76.6	77.4	78.6	80.2	82.9	87.1	90.6	95.3	102.9	110.7	128.3	150.9	182.0	
93	77.5	78.4	79.6	81.2	83.9	88.1	91.6	96.4	104.1	111.9	129.7	152.6	184.0	
94	78.4	79.3	80.5	82.2	84.9	89.1	92.7	97.5	105.3	113.2	131.2	154.3	186.0	
95	79.4	80.3	81.5	83.1	85.8	90.1	93.7	98.6	106.4	114.4	132.6	155.9	188.0	
96	80.3	81.2	82.4	84.1	86.8	91.1	94.8	99.7	107.6	115.7	134.0	157.6	190.0	
97	81.2	82.2	83.4	85.1	87.8	92.2	95.8	100.8	108.8	116.9	135.5	159.3	192.0	
98	82.2	83.1	84.3	86.0	88.8	93.2	96.9	101.9	109.9	118.2	136.9	160.9	194.0	
99	83.1	84.1	85.3	87.0	89.8	94.2	97.9	103.0	111.1	119.4	138.3	162.6	196.0	
100	84.1	85.0	86.2	88.0	90.8	95.2	99.0	104.1	112.3	120.6	139.7	164.3	198.0	
102	85.9	86.9	88.1	89.9	92.8	97.3	101.1	106.3	114.6	123.1	142.6	167.6	202.0	
104	87.8	88.8	90.1	91.9	94.8	99.3	103.2	108.6	116.9	125.6	145.4	170.9	206.0	
106	89.7	90.7	92.0	93.8	96.7	101.4	105.3	110.7	119.3	128.1	148.3	174.2	210.0	
108	91.6	92.6	93.9	95.7	98.7	103.4	107.4	112.9	121.6	130.6	151.1	177.6	214.0	
110	93.5	94.5	95.8	97.7	100.7	105.5	109.5	115.1	124.0	133.1	154.0	180.9	218.0	
112	95.4	96.4	97.7	99.6	102.7	107.5	111.7	117.3	126.3	135.6	156.9	184.2	222.0	
114	97.3	98.3	99.7	101.6	104.7	109.6	113.8	119.5	128.6	138.1	159.7	187.6	226.0	
116	99.2	100.2	101.6	103.5	106.7	111.7	115.9	121.7	131.0	140.6	162.6	190.9	230.0	
118	101.1	102.1	103.5	105.5	108.7	113.7	118.0	123.9	133.3	143.1	165.4	194.2	234.0	
120	103.0	104.0	105.4	107.4	110.7	115.8	120.1	126.1	135.7	145.6	168.3	197.6	238.0	
122	104.9	105.9	107.4	109.4	112.6	117.8	122.2	128.3	138.0	148.1	171.1	200.9	242.0	
124	106.8	107.9	109.3	111.3	114.6	119.9	124.4	130.5	140.3	150.6	174.0	204.2	246.0	
126	108.7	109.8	111.2	113.3	116.6	121.9	126.5	132.7	142.7	153.0	176.8	207.6	250.0	

Приложение В. Численные расчеты значений формулы Эрланга

N	Y, Эрл													
	P _B													
	1.0%	1.2%	1.5%	2%	3%	5%	7%	10%	15%	20%	30%	40%	50%	
128	110.6	111.7	113.2	115.2	118.6	124.0	128.6	134.9	145.0	155.5	179.7	210.9	254.0	
130	112.5	113.6	115.1	117.2	120.6	126.1	130.7	137.1	147.4	158.0	182.5	214.2	258.0	
132	114.4	115.5	117.0	119.1	122.6	128.1	132.8	139.3	149.7	160.5	185.4	217.6	262.0	
134	116.3	117.4	119.0	121.1	124.6	130.2	134.9	141.5	152.0	163.0	188.3	220.9	266.0	
136	118.2	119.4	120.9	123.1	126.6	132.3	137.1	143.7	154.4	165.5	191.1	224.2	270.0	
138	120.1	121.3	122.8	125.0	128.6	134.3	139.2	145.9	156.7	168.0	194.0	227.6	274.0	
140	122.0	123.2	124.8	127.0	130.6	136.4	141.3	148.1	159.1	170.5	196.8	230.9	278.0	
142	123.9	125.1	126.7	128.9	132.6	138.4	143.4	150.3	161.4	173.0	199.7	234.2	282.0	
144	125.8	127.0	128.6	130.9	134.6	140.5	145.6	152.5	163.8	175.5	202.5	237.6	286.0	
146	127.7	129.0	130.6	132.9	136.6	142.6	147.7	154.7	166.1	178.0	205.4	240.9	290.0	
148	129.7	130.9	132.5	134.8	138.6	144.6	149.8	156.9	168.5	180.5	208.2	244.2	294.0	
150	131.6	132.8	134.5	136.8	140.6	146.7	151.9	159.1	170.8	183.0	211.1	247.6	298.0	
152	133.5	134.8	136.4	138.8	142.6	148.8	154.0	161.3	173.1	185.5	214.0	250.9	302.0	
154	135.4	136.7	138.4	140.7	144.6	150.8	156.2	163.5	175.5	188.0	216.8	254.2	306.0	
156	137.3	138.6	140.3	142.7	146.6	152.9	158.3	165.7	177.8	190.5	219.7	257.6	310.0	
158	139.2	140.5	142.3	144.7	148.6	155.0	160.4	167.9	180.2	193.0	222.5	260.9	314.0	
160	141.2	142.5	144.2	146.6	150.6	157.0	162.6	170.2	182.5	195.5	225.4	264.2	318.0	
162	143.1	144.4	146.1	148.6	152.7	159.1	164.7	172.4	184.9	198.0	228.2	267.6	322.0	
164	145.0	146.3	148.1	150.6	154.7	161.2	166.8	174.6	187.2	200.4	231.1	270.9	326.0	
166	146.9	148.3	150.0	152.6	156.7	163.3	168.9	176.8	189.6	202.9	233.9	274.2	330.0	
168	148.9	150.2	152.0	154.5	158.7	165.3	171.0	179.0	191.9	205.4	236.8	277.6	334.0	
170	150.8	152.1	153.9	156.5	160.7	167.4	173.2	181.2	194.2	207.9	239.7	280.9	338.0	
172	152.7	154.1	155.9	158.5	162.7	169.5	175.3	183.4	196.6	210.4	242.5	284.2	342.0	
174	154.6	156.0	157.8	160.4	164.7	171.5	177.4	185.6	198.9	212.9	245.4	287.6	346.0	
176	156.6	158.0	159.8	162.4	166.7	173.6	179.8	187.8	201.3	215.4	248.2	290.9	350.0	
178	158.5	159.9	161.8	164.4	168.7	175.7	181.7	190.0	203.6	217.9	251.1	294.2	354.0	
180	160.4	161.8	163.7	166.4	170.7	177.8	183.8	192.2	206.0	220.4	253.9	297.5	358.0	
182	162.3	163.8	165.7	168.3	172.8	179.8	185.9	194.4	208.3	222.9	256.8	300.9	362.0	
184	164.3	165.7	167.6	170.3	174.8	181.9	188.1	196.6	210.7	225.4	259.6	304.2	366.0	
186	166.2	167.7	169.6	172.3	176.8	184.0	190.2	198.9	213.0	227.9	262.5	307.5	370.0	
188	168.1	169.6	171.5	174.3	178.8	186.1	192.3	201.1	215.4	230.4	265.4	310.9	374.0	

Приложение В. Численные расчеты значений формулы Эрланга

N	Y, Эрл													
	P _B													
	1.0%	1.2%	1.5%	2%	3%	5%	7%	10%	15%	20%	30%	40%	50%	
190	170.1	171.5	173.5	176.3	180.8	188.1	194.5	203.3	217.7	232.9	268.2	314.2	378.0	
192	172.0	173.5	175.4	178.2	182.8	190.2	196.6	205.5	220.1	235.4	271.1	317.5	382.0	
194	173.9	175.4	177.4	180.2	184.8	192.3	198.7	207.7	222.4	237.9	273.9	320.9	386.0	
196	175.9	177.4	179.4	182.2	186.9	194.4	200.8	209.9	224.8	240.4	276.8	324.2	390.0	
198	177.8	179.3	181.3	184.2	188.9	196.4	203.0	212.1	227.1	242.9	279.6	327.5	394.0	
200	179.7	181.3	183.3	186.2	190.9	198.5	205.1	214.3	229.4	245.4	282.5	330.9	398.0	

СОДЕРЖАНИЕ

СПИСОК СОКРАЩЕНИЙ	3
ВВЕДЕНИЕ	5
1. МОДЕЛИ, МЕТОДЫ, ТЕХНОЛОГИИ И ИНСТРУМЕНТАЛЬНЫЕ СРЕДСТВА, ИСПОЛЬЗУЕМЫЕ В ТЕЛЕКОММУНИКАЦИЯХ ДЛЯ ОЦЕНИВАНИЯ ПАРАМЕТРОВ ЭНЕРГОСБЕРЕЖЕНИЯ И ЭНЕРГОЭФФЕКТИВНОСТИ	7
1.1. Лабораторная работа № 1. Исследование энергоэффективности аппаратных средств с режимом Energy Efficient Ethernet.....	7
1.2. Лабораторная работа № 2. Исследование энергопотребления элементов беспроводных систем связи в зависимости от интенсивности трафика и структуры сети	23
1.3. Лабораторная работа № 3. Исследование энергоэффективности системы связи с использованием помехоустойчивого кодирования	41
2. МЕТОДЫ ПОВЫШЕНИЯ ЭНЕРГОЭФФЕКТИВНОСТИ И ЭНЕРГОСБЕРЕЖЕНИЯ, ИСПОЛЬЗУЕМЫЕ ПРИ ПРОЕКТИРОВАНИИ ТЕЛЕКОММУНИКАЦИОННЫХ СЕТЕЙ И СИСТЕМ	77
2.1. Лабораторная работа № 4. Исследование энергоэффективного управления трафиком в сетях с динамической маршрутизацией..	77
2.2. Лабораторная работа № 5. Исследование энергоэффективности систем связи с различными видами модуляции	88
2.3. Лабораторная работа № 6. Исследование энергоэффективности систем связи в условиях замираний.....	121
2.4. Лабораторная работа № 7. Исследование зависимости энергопотребления мобильного пользовательского устройства от изменения характеристик входного потока данных	168
2.5. Лабораторная работа № 8. Исследование зависимости общей спектральной эффективности системы сотовой подвижной радиосвязи от параметров соты	181

ЛИТЕРАТУРА	204
АНОТАЦІЯ ТА ЗМІСТ	212
ABSTRACT AND CONTENT	214
ПРИЛОЖЕНИЕ А. УЧЕБНАЯ ПРОГРАММА.....	216
ПРИЛОЖЕНИЕ Б. МЕТОДИЧЕСКИЕ РЕКОМЕНДАЦИИ ПО САМОСТОЯТЕЛЬНОЙ РАБОТЕ.....	232
ПРИЛОЖЕНИЕ В. ЧИСЛЕННЫЕ РАСЧЕТЫ ЗНАЧЕНИЙ ФОРМУЛЫ ЭРЛАНГА.....	239

Автори:
Пашинцев Володимир Петрович
Калмиков Ігор Анатолієвич
Линец Геннадій Іванович
Жук Олександр Павлович
Мезенцева Оксана Станіславівна
Яковлев Сергій Володимирович
Кузьмінов Юрій Володимирович

Зелені технології у телекомунікаціях

Практикум
(російською мовою)

Редактори
В.С. Харченко
О.С. Мезенцева

Комп'ютерна верстка
С.В. Яковлев, Л.Д. Харченко

Зв. план, 2015

Підписаний до друку 16.11.2015

Формат 60x84 1/16. Папір офс. №2. Офс. друк.

Умов. друк. арк. 14,36. Уч.-вид. л. 15,08. Наклад 200 прим.

Замовлення 80. Ціна вільна

Національний аерокосмічний університет ім. М. Є. Жуковського
"Харківський авіаційний інститут"
61070, Харків-70, вул. Чкалова, 17
<http://www.khai.edu>

Віддруковано ФОП Лисенко І. Б.

61070, Харків-70, вул. Чкалова, 17, моторний корпус, к. 147

Свідоцтво про внесення суб'єкта видавничої справи в державний реєстр
видавців, виготовлювачів і розповсюджувачів видавничої продукції
ДК №2607 от 11.09.06 р.