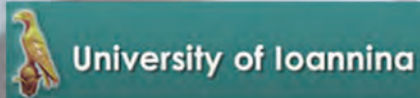




- GREEN ISSUES FOR WIRELESS COMPUTER NETWORKS (WLN_s)
- RANGE AND THROUGHPUT INVESTIGATION OF WLN_s
- THROUGHPUT INVESTIGATION OF WLN_s TAKING INTO ACCOUNT DIFFERENCE IN STATIONS' DATA RATES
- INVESTIGATION OF A PACKET FRAGMENTATION IMPACT ON WLN_s THROUGHPUT
- INVESTIGATION OF WIRELESS INFRASTRUCTURES DEPLOYMENT TECHNIQUES

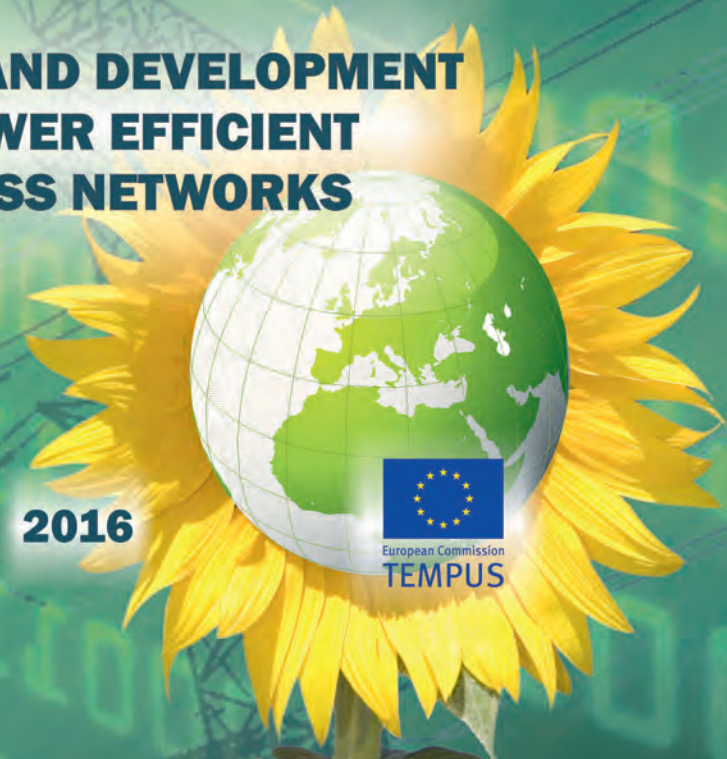


ИССЛЕДОВАНИЕ И РАЗРАБОТКА ЭНЕРГОЭФФЕКТИВНЫХ БЕСПРОВОДНЫХ СЕТЕЙ

Практикум

RESEARCH AND DEVELOPMENT FOR POWER EFFICIENT WIRELESS NETWORKS

2016



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

О.М. Тарасюк, А.В. Горбенко

**Исследование и разработка
энергоэффективных беспроводных сетей**

**Research and Development for Power Efficient
Wireless Networks**

Практикум

Под редакцией В.С. Харченко

**Проект
GREENCO 530270-TEMPUS-1-2012-1-UK-TEMPUS-JPCR
*Green Computing & Communications***

2016

УДК 004.052

T19

Викладені матеріали практичної частини навчального курсу «Дослідження та розробка енергоефективних бездротових мереж» (Research and Development for Green Wireless Networks), підготовленого для аспірантів в рамках проекту TEMPUS-GREENCO «Green Computing & Communications» (530270-TEMPUS-1-2012-1-UK-TEMPUS-JPCR).

Присвячено вивченню методів побудови високопродуктивних енергоефективних бездротових комп'ютерних мереж Wi-Fi стандартів IEEE 802.11g/n/ac. Приводиться навчальна програма курсу, дається опис лабораторних і практичних робіт, методичні рекомендації щодо самостійного вивчення матеріалу курсу.

Для студентів і аспірантів університетів, що навчаються за напрямками комп'ютерних наук, комп'ютерній і програмній інженерії, телекомунікацій при вивченні підходів до забезпечення енергоефективності та підвищення продуктивності бездротових комп'ютерних мереж, а також буде корисно для викладачів відповідних навчальних курсів.

Рецензенти:

- Alexander Romanovsky, Professor, Newcastle University (Newcastle upon Tyne, UK);
- Dr Ah-Lian Kor, Senior lecturer, Leeds Beckett University (Leeds, UK).

T19 Тарасюк О.М., Горбенко А.В. **Исследование и разработка энергоэффективных беспроводных сетей. Практикум** / Под ред. Харченко В.С. – Министерство образования и науки Украины, Национальный аэрокосмический университет им. Н.Е. Жуковского «ХАИ», 2016. – 96 с.

ISBN 978-966-662-709-7

Изложены материалы практической части учебного курса «Исследование и разработка энергоэффективных беспроводных сетей» (Research and Development for Green Wireless Networks), подготовленного для аспирантов в рамках проекта TEMPUS-GREENCO «Green Computing & Communications» (530270-TEMPUS-1-2012-1-UK-TEMPUS-JPCR).

Посвящено изучению методов построения высокопроизводительных энергоэффективных беспроводных компьютерных сетей Wi-Fi стандартов IEEE 802.11g/n/ac. Приводится учебная программа курса, дается описание лабораторных и практических работ, методические рекомендации по самостоятельному изучению материала курса.

Для магистров и аспирантов университетов, обучающихся по направлениям компьютерных наук, компьютерной и программной инженерии, телекоммуникаций при изучении подходов к обеспечению энергоэффективности и повышению производительности беспроводных компьютерных сетей, а также может быть полезно для преподавателей, ведущих занятия по соответствующим курсам.

Библ. – 19 наименований, рисунков – 28, таблиц – 6.

Рекомендовано к изданию ученым советом Национального аэрокосмического университета имени Н.Е. Жуковского «Харьковский авиационный институт» (протокол № 1 от 16 сентября 2015 г.).

УДК 004.052

ISBN 978-966-662-709-7

© О.М. Тарасюк, А.В. Горбенко

© Национальный аэрокосмический университет им. Н.Е.Жуковского «ХАИ»

ПРЕДИСЛОВИЕ

Данное пособие является частью учебно-методического обеспечения курса «Исследование и разработка энергоэффективных беспроводных сетей» (Research and Development for Green Wireless Networks), подготовленного для аспирантов в рамках проекта TEMPUS-GREENCO «Green Computing & Communications» (530270-TEMPUS-1-2012-1-UK-TEMPUS-JPCR), и служит дополнением к лекционному материалу, изложенному в [1, 2].

Построение энергоэффективных компьютерных систем предполагает нахождение компромисса между потребляемой мощностью, производительностью (быстродействием) и надежностью. Указанная триада характеристик является основой для формулирования и решения одно- или многокритериальных оптимизационных задач.

Беспроводные компьютерные сети расширяют и детализируют спектр характеристик, используемых в задачах рационального использования электроэнергии (см. рис. 1).

Во-первых, в дополнение к потребляемой мощности возникает необходимость учитывать и излучаемую мощность, которая приобретает даже более важное значение из-за потенциального негативного влияния на здоровье человека и состояние биосферы. Электромагнитное загрязнение антропогенного происхождения, к которым относятся радиоизлучение точек доступа и мобильных устройств, – это совокупность электромагнитных полей, разнообразных частот, негативно влияющих на человека. Некоторые исследователи называют электромагнитный смог, возникший и сформировавшийся за последние 60-70 лет, одним из самых мощных патогенных факторов.

Во-вторых, одной из важнейших характеристик беспроводных систем связи является дальность их действия, которая зависит от мощности передаваемого сигнала, частотного диапазона, чувствительности приемника и его способности по распознаванию и исправлению возникающих ошибок.

В-третьих, свойство надежности функционирования для беспроводных сетей конкретизируется в виде способности безошибочной передачи информации и устойчивости к электромагнитным помехам. В качестве количественного показателя надежности для беспроводных сетей Wi-Fi наиболее часто используется частота (вероятность) битовой ошибки (Bit Error Rate), которая зависит не только от схемотехнических особенностей системы связи и уровня электромагнитных помех, но и от характеристик используемых средств обнаружения и исправления ошибок (средств помехоустойчивого кодирования).

В то же время, реализация этих средств также является ресурсоемкой в терминах временных задержек для выполнения помехоустойчивого кодирования/декодирования, внесения избыточности передаваемой информации, а также дополнительной энергии, потребляемой микропроцессорным элементом при выполнении помехоустойчивых преобразований.



Рис. 1. Модель компромиссных характеристик энергоэффективных беспроводных сетей Wi-Fi

В-четвертых, производительность беспроводных компьютерных сетей определяется пропускной способностью, доступной каждому абоненту и сети в целом, а также временными параметрами (задержка передачи, вариация задержки, время отклика и т.п.).

Анализ технологий беспроводных сетей показывает, что их производительность (пропускная способность) составляет 25-50% от скорости передачи, поддерживаемой на физическом уровне модели сетевого взаимодействия OSI. В то же время для проводных сетей, например, коммутируемых сетей семейства Ethernet, пропускная способность составляет порядка 95% от скорости передачи. Этот факт оставляет значительный запас по повышению энергоэффективности (повышение производительности при том же уровне потребляемой/излучаемой энергии) беспроводных сетей за счет лишь алгоритмической и протокольной оптимизации.

Ключевыми проблемами достаточно низкой производительности беспроводных сетей Wi-Fi являются значительное влияние электромагнитных помех, приводящее к необходимости повторной передачи искаженных пакетов и, как следствие, снижению пропускной способности, существенные накладные расходы, заложенные в реализацию алгоритмов доступа к среде передачи, неоптимальное распределение мобильных абонентов между точками доступа, образующими беспроводную инфраструктуру, а также проблема несправедливого (неравномерного) распределения эфирного времени между низко- и высокоскоростными абонентами.

В пособии приводятся описание лабораторных работ и семинаров, методические рекомендации по самостоятельному изучению материала курса, в приложении дана учебная программа курса. Практическая часть курса включает лабораторные работы и семинарские занятия, посвященные анализу, разработке и исследованию:

– методик расчета и экспериментальной оценки дальности связи и производительности беспроводных компьютерных сетей Wi-Fi (лабораторная работа №1);

– факторов, влияющих на снижение производительности беспроводных компьютерных сетей Wi-Fi и методов решения указанной проблемы (лабораторные работы №2, 3);

– методик построения беспроводных инфраструктур с учетом требований к пропускной способности и количеству абонентов (лабораторная работа №4);

Каждая из лабораторных работ включает: цель, учебные, практические и исследовательские задачи; программу подготовки; краткий теоретический материал; программу проведения разработок и исследований; требования к содержанию отчета; варианты заданий; контрольные вопросы.

Семинарские занятия проводятся по перспективным направлениям развития современных беспроводных компьютерных сетей: 1) энергоэффективность беспроводных компьютерных сетей Wi-Fi; показатели оценки и методы обеспечения; 2) влияние беспроводных компьютерных сетей на окружающую среду; электромагнитное загрязнение окружающей среды; 3) проблемы низкой производительности беспроводных компьютерных сетей Wi-Fi и подходы к их решению; 4) технологические особенности современных высокоскоростных беспроводных компьютерных сетей стандартов IEEE 802.11g/n/ac и др. Описание семинарских занятий включает тему, цель, методические указания по подготовке и проведению.

Пособие предназначено для магистров и аспирантов университетов, обучающихся по направлениям компьютерных наук, компьютерной и программной инженерии, телекоммуникаций при изучении подходов к обеспечению энергоэффективности и повышению производительности беспроводных компьютерных сетей, а также может быть полезным для преподавателей, ведущих занятия по соответствующим курсам.

Авторы выражают благодарность рецензентам, коллегам по проекту, кафедрам университетов за ценную информацию, методическую помощь и конструктивные предложения, которые высказывались в процессе обсуждения практической части данного курса.

АНОТАЦІЯ ТА ЗМІСТ

УДК 004.052

О.М. Тарасюк, А.В. Горбенко. **Дослідження та розробка енергоефективних бездротових мереж. Практикум** / Під ред. Харченка В.С. – Міністерство освіти та науки України, Національний аерокосмічний університет ім. М.Є. Жуковського «ХАІ», 2016. – 96 с.

ISBN 978-966-662-709-7

У посібнику викладені матеріали практичної частини навчального курсу «Дослідження та розробка енергоефективних бездротових мереж» (Research and Development for Green Wireless Networks), підготовленого для аспірантів в рамках проекту TEMPUS-GREENCO «Green Computing & Communications» (530270-TEMPUS-1-2012-1-UK-TEMPUS-JPCR).

Курс присвячений вивченню методів побудови високопродуктивних енергоефективних бездротових комп'ютерних мереж Wi-Fi стандартів IEEE 802.11g/n/ac. Приводиться навчальна програма курсу, дається опис лабораторних і практичних робіт, методичні рекомендації щодо самостійного вивчення матеріалу курсу.

Книга призначена для студентів і аспірантів університетів, що навчаються за напрямками комп'ютерних наук, комп'ютерній і програмній інженерії, телекомунікацій при вивченні підходів до забезпечення енергоефективності та підвищення продуктивності бездротових комп'ютерних мереж, а також буде корисна для викладачів відповідних навчальних курсів.

Бібл. – 19 найменувань, рисунків – 28, таблиць – 6.

ЗМІСТ

ПЕРЕДМОВА	3
1 ЛАБОРАТОРНІ РОБОТИ.....	7
1.1 Дослідження дальності зв'язку та продуктивності бездротових комп'ютерних мереж.....	7
1.2 Дослідження продуктивності бездротових комп'ютерних мереж з урахуванням різниці скоростей передачі даних абонентів.....	26
1.3 Дослідження впливу на продуктивність бездротових комп'ютерних мереж порогу фрагментації	42
1.4 Дослідження методики розгортання бездротових інфраструктур	58
2 СЕМІНАРИ.....	75
3 МЕТОДИЧНІ РЕКОМЕНДАЦІЇ ДО САМОСТІЙНОЇ РОБОТИ.....	78
3.1 Пояснення до навчальної програми.....	78
3.2 Підготовка до занять та екзамену	79
ЛІТЕРАТУРА	81
ДОДАТОК. НАВЧАЛЬНА ПРОГРАМА.....	83

ABSTRACT AND CONTENT

UDC 004.052

Tarasyuk O., Gorbenko A. **Research and Development for Power Efficient Wireless Networks** / Kharchenko V. (edit.). – Department of Education and Science of Ukraine, National Aerospace University named after N. Zhukovsky “KhAI”, 2016. – 96 p.

ISBN 978-966-662-709-7

Practical materials of study course the “Research and Development for Green Wireless Networks” are expounded in this training textbook prepared for PhD-students within the framework of project TEMPUS-GREENCO «Green Computing & Communications» (530270-TEMPUS-1-2012-1-UK-TEMPUS-JPCR).

The course focuses on the study of development and deployment techniques for high-throughput and energy-efficient IEEE 802.11g/n/ac Wi-Fi networks. Course curriculum, description of laboratory works, practical trainings and methodical recommendations for self-sufficient study are given.

The book is intended for university master and PhD students learning computer sciences, computer and software engineering, and studying techniques ensuring energy-efficiency and enhancing throughput of wireless computer networks as well as for teachers lecturing respective courses.

Ref. – 19 items, figures – 28, tables – 6.

CONTENT

PREFACE.....	3
1 LABORATORY WORKS	7
1.1 Range and throughput investigation of wireless computer networks.....	7
1.2 Throughput investigation of wireless computer networks taking into account difference in stations' data rate	26
1.3 Investigation of a packet fragmentation impact on wireless computer networks throughput.....	42
1.4 Investigation of wireless infrastructures deployment techniques	58
2 SEMINARS.....	75
3 THE GUIDELINES TO SELF-SUFFICIENT WORK	78
3.1 Explanations to the teaching program	78
3.2 Preparation for the lessons and examination.....	79
REFERENCES.....	81
APPENDIX. TEACHING PROGRAM.....	87

ПРИЛОЖЕНИЕ. УЧЕБНАЯ ПРОГРАММА

TEACHING PROGRAM

TITLE OF THE MODULE	Code
Research and Development for Green Wireless Networks	PhD4

Teacher(s)	Department
Coordinating: Dr. Olga Tarasyuk Others: Prof. Anatoliy Gorbenko	Computer Systems and Networks

Study cycle	Level of the module	Type of the module
PhD	B	Full-time tuition

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

Prerequisites	
Prerequisites: Computer Systems and System Analysis; Probability Theory and Mathematic Statistics; Set Theory and Discrete Mathematics; Computer Networks; Wireless networking technologies	Co-requisites (if necessary):

Credits of the module	Total student workload	Contact hours	Individual work hours
4	108	36	72

Aim of the module (course unit): competences foreseen by the study programme
The aim of module is to create a knowledge base for multidisciplinary research on energy-effective wireless networks. It includes overview of methods, and approaches to develop and deploy energy-effective wireless networks and to investigate and enhance their performance.

Learning outcomes of module (course unit)	Teaching/learning methods	Assessment methods
At the end of course, the successful student will be able to: 1. Identify trade-offs in Green Wi-Fi networks between performance, reliability, power consumption, power emission, and range.	Interactive lectures, Learning laboratories, Just-in-Time Teaching	Module Evaluation Questionnaire
2. Prepare test scenarios and benchmark Wi-Fi performance. Understand airtime consumption unfairness.	Interactive lectures, Learning laboratories, Just-in-Time Teaching	Module Evaluation Questionnaire
3. Estimate Wi-Fi throughput. Choose optimal 802.11n/ac aggregation techniques and set up optimal fragmentation threshold.	Interactive lectures, Learning laboratories, Just-in-Time Teaching	Module Evaluation Questionnaire
4. Choose optimal Wi-Fi frequency band and perform channel allocations. Deploy Wi-Fi access points with regards to throughput requirements.	Interactive lectures, Learning 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. Understanding 'Green Wi-Fi' Trade-offs 1.1. Paradigm and principles of Green Wi-Fi	6			4			10	18	1.5. Learning of IEEE 802.11n/ac series of

1.2. Trade-off model of Green Wi-Fi 1.3. Wi-Fi performance and range issues 1.4. Electromagnetic pollution caused by Wi-Fi								standards 1.6. Reading research paper on Green Wi-Fi networks
2. Dealing with the airtime consumption unfairness 2.1. Unfair airtime consumption issue 2.2. Wi-Fi throughput and latency assessment model 2.3. Techniques mitigating airtime consumption unfairness 2.4. Contention window adaptation technique	4			4		8	18	2.5. Reading research paper on Wi-Fi networks throughput evaluation
3. Optimal fragmentation and aggregation 3.1. Wi-Fi aggregation techniques 3.2. Wi-Fi fragmentation technique 3.3. Throughput estimation with regards to BER and packed size 3.4. Optimal fragmentation and aggregation	4			4		8	18	3.5. Reading research paper on Wi-Fi networks performance enhancement via optimal fragmentation
4. Access points distribution and adaptive green Wi-Fi 4.1. Optimal access points allocation 4.2. Wi-Fi networks deployment with regards to throughput requirements and number of stations 4.3. Estimation of a required number of access points and their ranges 4.4. Optimal wireless clients balancing	4		2	4		10	18	4.5. Reading research paper on Wi-Fi networks deployment and balancing techniques 4.6. Preparation of material for seminars according to individual tasks.
Total	18		2	16		36	72	

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 thorough understanding and appreciation of the material, producing work without significant error or omission. Objectives achieved well. Excellent organization 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 organized. Good work towards the objectives. 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 organization 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</p>
--------------------------	----	------	--

			<p>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 incorrectly. There should be some signs of appreciation of the laboratory work requirements.</p> <p>0% – 19% Very little or nothing that is correct and relevant and no real appreciation of the laboratory work requirements.</p>
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				
V. С. Харченко и др.	2014	Зеленая ИТ-инженерия. Т. 1 : Принципы, модели, компоненты		Харьков: Нац. аэрокосм. ун-т им. Н. Е. Жуковского "ХАИ"
V. С. Харченко и др.	2014	Зеленая ИТ-инженерия. Т. 2 : Системы, индустрия, социум		Харьков: Нац. аэрокосм. ун-т им. Н. Е. Жуковского "ХАИ"
E. Perahia, R. Stacey	2011	Next Generation Wireless LANs: throughput, robustness and reliability in 802.11n		Cambridge: Cambridge University Press

Watson R.	2012	Understanding IEEE 802.11ac Wi-Fi Standard and Preparing the Enterprise WLAN		Sunnyvale : Meru
J. Geier.	2010	Designing and Deploying 802.11n Wireless Networks		Indianapolis: Cisco Press
	2009	IEEE Std 802.11n-2009. Amendment 5: Enhancements for Higher Throughput		New York : IEEE
A. M. Abdul-Hadi, O. Tarasyuk, A. Gorbenko, et al.	2014	Throughput estimation with regard to airtime consumption unfairness in mixed data rate Wi-Fi networks	Vol. 1	Communications
O. Tarasyuk, A. Gorbenko	2014	Performance Enhancement in Multirate Wi-Fi Networks	Vol. 12, № 2	Journal of Information, Control and Management Systems
M. Srivastava	2002	Power-Aware Communication System		In M. Pedram, J. M. Rabaey (Eds.). Power Aware Design Methodologies. – N.Y.: Kluwer Academic Publishers
R. Morrow	2004	Wireless Network Coexistence		New York : McGraw-Hill
Additional literature				
D. Malone, K. Duffy, D. Leith	2007	Modeling the 802.11 Distributed Coordination Function in Nonsaturated	Vol.15, N.1	IEEE/ACM Trans. on Networking

		Heterogeneous Conditions		
V. P. Kemerlis, E. C. Stefanis, G. Xylomenos, G. C. Polyzos	2006	Throughput Unfairness in TCP over WiFi		3rd Annual Conference on Wireless On demand Network Systems and Services: conference proceedings
P. Lettieri, M.B. Srivastava		Adaptive frame length control for improving wireless link throughput, range, and energy efficiency	Vol. 2	Proc. IEEE INFOCOM'98 Conference on Computer Communications
J. A. R. Pacheco de Carvalho, etc.	2012	Performance evaluation of Wi-Fi IEEE 802.11 a,g WPA2 PTP links: a case study		World Congress on Engineering : conference proceedings
G. Anastasi, L. Lenzi	2000	QoS Provided by the IEEE 802.11 Wireless LAN to advanced Data Applications: a Simulation Analysis	Vol. 6, N 2.	Wireless Networks

СОДЕРЖАНИЕ

ПРЕДИСЛОВИЕ.....	3
1 ЛАБОРАТОРНЫЕ РАБОТЫ.....	7
1.1 Исследование дальности связи и производительности беспроводных компьютерных сетей	7
1.2 Исследование производительности беспроводных компьютерных сетей с учетом разности скоростей передачи данных абонентов	26
1.3 Исследование влияния на производительность беспроводных компьютерных сетей порога фрагментации	42
1.4 Исследование методики развёртывания беспроводных инфраструктур	58
2 СЕМИНАРЫ.....	75
3 МЕТОДИЧЕСКИЕ РЕКОМЕНДАЦИИ ПО САМОСТОЯТЕЛЬНОЙ РАБОТЕ.....	78
3.1 Пояснения к учебной программе	78
3.2 Подготовка к занятиям и экзамену	80
ЛИТЕРАТУРА.....	81
АНОТАЦІЯ ТА ЗМІСТ	83
ABSTRACT AND CONTENT	85
ПРИЛОЖЕНИЕ. УЧЕБНАЯ ПРОГРАММА	87

Тарасюк Ольга Михайлівна
Горбенко Анатолій Вікторович

ДОСЛІДЖЕННЯ ТА РОЗРОБКА ЕНЕРГОЕФЕКТИВНИХ БЕЗДРОТОВИХ МЕРЕЖ

Практикум
(російською мовою)

Редактор Харченко В.С.

Комп'ютерна верстка
Тарасюк О.М.

Зв. план, 2016

Підписаний до друку 21.01.2016

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

Умов. друк. арк. 5,58. Уч.-вид. л. 5,31. Наклад 200 прим.

Замовлення 2. 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.