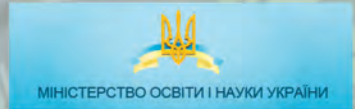




- METHODS FOR MEASURING THE POWER CONSUMPTION OF DIGITAL COMPUTING DEVICES (DGD)
- INVESTIGATION OF THE STATIC POWER CONSUMPTION OF DGDS
- INVESTIGATION OF THE DYNAMIC POWER CONSUMPTION OF DGDS
- INVESTIGATION OF ENERGY CONSUMPTION OF MOBILE DEVICES AND ANDROID APPLICATIONS



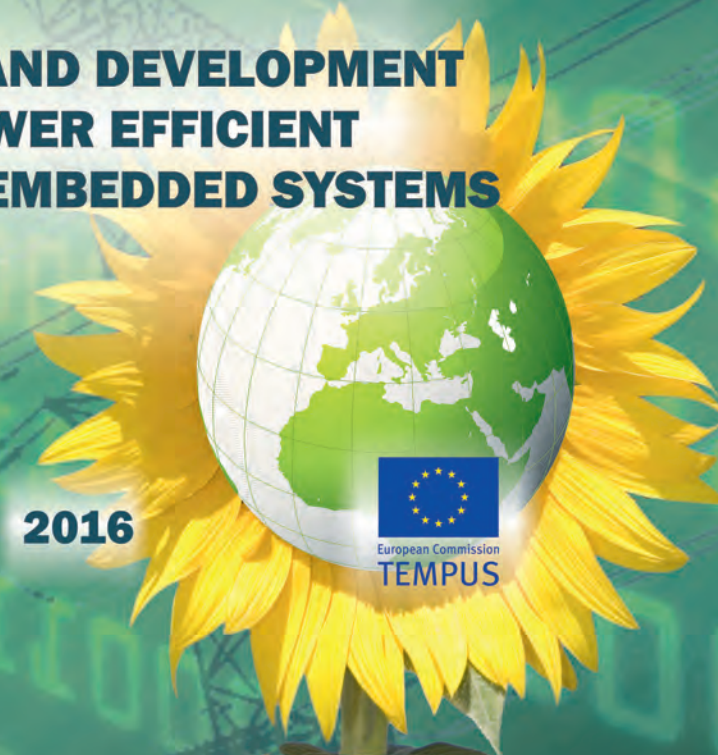
# ИССЛЕДОВАНИЕ И РАЗРАБОТКА ЭНЕРГОЭФФЕКТИВНЫХ МОБИЛЬНЫХ И ВСТРОЕННЫХ СИСТЕМ

Практикум

# RESEARCH AND DEVELOPMENT FOR POWER EFFICIENT MOBILE AND EMBEDDED SYSTEMS



2016



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

**О.М. Тарасюк, А.В. Мазуренко, А.В. Горбенко**

**Исследование и разработка  
энергоэффективных мобильных и  
встроенных систем**

**Research and Development for Power  
Efficient Mobile and Embedded Systems**

**Практикум**

**Под редакцией В.С. Харченко**

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

**2016**

УДК 004.052  
Т19

Викладені матеріали практичної частини навчального курсу «Дослідження та розробка енергоефективних мобільних та вбудованих систем» (Research and Development for Green Mobile and Embedded Systems), підготовленого для аспірантів в рамках проекту TEMPUS-GREENCO «Green Computing & Communications» (530270-TEMPUS-1-2012-1-UK-TEMPUS-JPCR).

Присвячено вивченню методів оцінки та побудови енергоефективних мобільних додатків та вбудованих мікропроцесорних систем. Приводиться навчальна програма курсу, дається опис лабораторних і практичних робіт, методичні рекомендації щодо самостійного вивчення матеріалу курсу.

Призначено для студентів і аспірантів університетів, що навчаються за напрямками комп'ютерних наук, комп'ютерній і програмній інженерії при вивченні підходів до забезпечення енергоефективності вбудованих мікропроцесорних систем та мобільних додатків, а також буде корисно для викладачів відповідних навчальних курсів.

**Рецензенти:**

- Prof. Alex Yakovlev, Professor, Newcastle University (Newcastle upon Tyne, UK);
- Ass. Prof. Evangelos Evangelou, University of Ioannina (Ioannina, Greece);
- Dr Mario Fusani, Research Associate, ISTI-CNR (Pisa, Italy).

Т19 Тарасюк О.М., Мазуренко А.В., Горбенко А.В. **Исследование и разработка энергоэффективных мобильных и встроенных систем. Практикум** / Под ред. Харченко В.С. – Министерство образования и науки Украины, Национальный аэрокосмический университет им. Н.Е. Жуковского «ХАИ», 2016. – 80 с.

**ISBN 978-966-662-710-3**

Изложены материалы практической части учебного курса «Исследование и разработка энергоэффективных мобильных и встроенных систем» (Research and Development for Green Mobile and Embedded Systems), подготовленного для аспирантов в рамках проекта TEMPUS-GREENCO «Green Computing & Communications» (530270-TEMPUS-1-2012-1-UK-TEMPUS-JPCR).

Посвящено изучению методов оценки и построения энергоэффективных мобильных приложений и встроенных микропроцессорных систем. Приводится учебная программа курса, дается описание лабораторных и практических работ, методические рекомендации по самостоятельному изучению материала курса.

Предназначено для магистров и аспирантов университетов, обучающихся по направлениям компьютерных наук, компьютерной и программной инженерии при изучении подходов к оценке и обеспечению энергоэффективности встроенных микропроцессорных систем и мобильных приложений, а также может быть полезно для преподавателей, ведущих занятия по соответствующим курсам.

Библ. – 20 наименований, рисунков – 15.

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 978-966-662-710-3**

© О.М. Тарасюк, А.В. Мазуренко, А.В. Горбенко  
© Национальный аэрокосмический университет им. Н.Е.Жуковского «ХАИ»



## ПРЕДИСЛОВИЕ

Данное пособие является частью учебно-методического обеспечения курса «Исследование и разработка энергоэффективных мобильных и встроенных систем» (Research and Development for Green Mobile and Embedded Systems), 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 [19, 20].

Курс посвящен изучению современных подходов и технологий построения энергоэффективных мобильных приложений и встроенных микропроцессорных систем, а также методам и средствам анализа, оценивания и экспериментального исследования энергопотребления аппаратных и программных средств.

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 и средств измерения потребляемой мощности цифровых вычислительных устройств (лабораторная работа №1);

– факторов, оказывающих влияние на величину статического энергопотребления микропроцессорных систем (лабораторные работы №2);

– энергоэффективности программного обеспечения микропроцессорных систем и факторов, влияющих на величину динамического энергопотребления микропроцессорных систем (лабораторные работы №3);

– методик оценки энергопотребления мобильных приложений (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 встроенных микропроцессорных систем и мобильных приложений

- 1) энергоэффективность мобильных приложений в рамках сервис-ориентированной модели взаимодействия;
- 2) энергоэффективность схем электрического питания и структурной организации цифровых устройств;
- 3) инструменты исследования и моделирования энергопотребления цифровых систем;
- 4) управление энергоэффективностью компьютерных систем 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 при изучении подходов к оценке и обеспечению энергоэффективности встроенных микропроцессорных систем и мобильных приложений, 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, О.В. Мазуренко, А.В. Горбенко. **Дослідження та розробка енергоефективних мобільних та вбудованих систем. Практикум** / Під ред. Харченка В.С. – Міністерство освіти та науки України, Національний аерокосмічний університет ім. М.С. Жуковського «ХАІ», 2016. – 80 с.

**ISBN 978-966-662-710-3**

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

Курс присвячений вивченню методів оцінки та побудови енергоефективних мобільних додатків та вбудованих мікропроцесорних систем. 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 при вивченні підходів до забезпечення енергоефективності вбудованих мікропроцесорних систем та мобільних додатків, а також буде корисна для викладачів відповідних навчальних курсів.

Бібл. – 20 найменувань, рисунків – 15.

## ЗМІСТ

ПЕРЕДМОВА .....	3
1 ЛАБОРАТОРНІ РОБОТИ.....	5
1.1 Методи вимірювання енергоспоживання цифрових обчислювальних пристроїв .....	5
1.2 Дослідження статичного енергоспоживання цифрових обчислювальних пристроїв .....	20
1.3 Дослідження динамічного енергоспоживання цифрових обчислювальних пристроїв .....	34
1.4 Дослідження енергоспоживання мобільних пристроїв і додатків на платформі Android .....	44
2 СЕМІНАРИ.....	54
3 МЕТОДИЧНІ РЕКОМЕНДАЦІЇ ДО САМОСТІЙНОЇ РОБОТИ.....	57
3.1 Пояснення до навчальної програми.....	57
3.2 Підготовка до занять та екзамену .....	59
ЛІТЕРАТУРА .....	60
ДОДАТОК. НАВЧАЛЬНА ПРОГРАМА.....	67

## ABSTRACT AND CONTENT

UDC 004.052

Tarasyuk O., Mazurenko A., Gorbenko A. **Research and Development for Power Efficient Mobile and Embedded Systems** / Kharchenko V. (edit.). – Department of Education and Science of Ukraine, National Aerospace University named after N. Zhukovsky “KhAI”, 2016. – 80 p.

**ISBN 978-966-662-710-3**

Practical materials of study course the “Research and Development for Green Mobile and Embedded Systems” 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 evaluation and development techniques of energy-efficient mobile applications and embedded microprocessor systems. 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 of mobile and embedded systems as well as for teachers lecturing respective courses.

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



## CONTENT

PREFACE.....	3
1 LABORATORY WORKS.....	5
1.1 Methods for measuring the power consumption of digital computing devices.....	5
1.2 Investigation of the static power consumption of digital computing devices.....	20
1.3 Investigation of the dynamic power consumption of digital computing devices.....	34
1.4 Investigation of energy consumption of mobile devices and Android applications.....	44
2 SEMINARS.....	54
3 THE GUIDELINES TO SELF-SUFFICIENT WORK.....	57
3.1 Explanations to the teaching program.....	57
3.2 Preparation for the lessons and examination.....	59
REFERENCES.....	60
APPENDIX. TEACHING PROGRAM.....	65

## ПРИЛОЖЕНИЕ. УЧЕБНАЯ ПРОГРАММА

### TEACHING PROGRAM

TITLE OF THE MODULE	Code
<b>Research and Development for Green Mobile and Embedded Systems</b>	<b>PhD3</b>

Teacher(s)	Department
<b>Coordinating:</b> Prof. Anatoliy Gorbenko <b>Others:</b> Dr. Olga Tarasyuk	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	
<b>Prerequisites:</b> Computer Systems and System Analysis; Microprocessor systems; Embedded systems development	<b>Co-requisites (if necessary):</b>

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-efficient mobile applications and embedded microprocessor systems. It includes overview of methods, and approaches to measure and evaluate power consumption of embedded microprocessor systems and to develop energy-efficient mobile applications.

Learning outcomes of module (course unit)	Teaching/learning methods	Assessment methods
At the end of course, the successful student will be able to: 1. Choose and implement in practice different techniques of energy saving for mobile applications and embedded computer systems.	Interactive lectures, Learning in laboratories, Just-in-Time Teaching	Module Evaluation Questionnaire
2. Understand different power consumption measurement techniques.	Interactive lectures, Learning in laboratories, Just-in-Time Teaching	Module Evaluation Questionnaire
3. Estimate power-efficiency metrics and identify trade-offs of computing resource distribution in hybrid mobile systems.	Interactive lectures, Learning in laboratories, Just-in-Time Teaching	Module Evaluation Questionnaire
4. Understand energy-saving techniques and optimize energy consumption of software applications for mobile devices.	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. Methods of energy saving for mobile technologies 1.1. Problems of energy saving for mobile devices	6			4			10	18	1.5. Learning standards on power consumption

<p>1.2. SW and HW adaptive power management</p> <p>1.3. ACPI standard for power and configuration management</p> <p>1.4. Methods of reducing the power consumption of mobile devices</p>								<p>measurement and management</p> <p>1.6. Reading research paper on methods of energy saving for mobile technologies</p>
<p>2. Development of intelligent energy monitoring subsystem devices</p> <p>2.1. Techniques of power consumption measurement</p> <p>2.2. HW and SW power consumption measurement tools</p> <p>2.3. Models of power consumption</p> <p>2.4. Power consumption modelling tools for embedded systems</p>	4			4		8	18	<p>2.5. Reading research paper on energy measurement and monitoring techniques and tools</p>
<p>3. Adaptive mobile technologies for hybrid systems</p> <p>3.1. Energy efficiency metrics</p> <p>3.2. Energy efficiency of data centers</p> <p>3.3. Cloud-providing energy efficient services for mobile customers</p> <p>3.4. Trade-off of energy-efficient distribution of computing resources in hybrid systems</p>	4			4		8	18	<p>3.5. Reading research paper on adaptive mobile technologies for hybrid systems</p>
<p>4. Tools for support of energy saving for mobile devices</p> <p>4.1. Energy efficiency techniques for mobile software</p> <p>4.2. Power profiling tools for mobile applications</p> <p>4.3. Power-efficient re-engineering of mobile applications</p>	4	2		4		10	18	<p>4.5. Reading research paper on techniques and tools for energy saving for mobile applications and embedded devices</p>

4.4. Energy optimization tasks for SW development for mobile platforms								4.6. Preparation of material for seminars according to individual tasks.
<b>Total</b>	<b>18</b>	<b>2</b>	<b>16</b>	<b>36</b>	<b>72</b>			

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</p>

			<p>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 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
<b>Compulsory literature</b>				
В. С. Харченко и др.	2014	Зеленая ИТ-инженерия. Т. 1 : Принципы, модели, компоненты		Харьков: Нац. аэрокосм. ун-т им. Н. Е. Жуковского "ХАИ"
В. С. Харченко и др.	2014	Зеленая ИТ-инженерия. Т.2: Системы, индустрия,		Харьков: Нац. аэрокосм. ун-т им. Н. Е. Жуковского



		социум		"ХАИ"
Mahmoud S. S., Ahmad I.	2012	Green Performance Indicators for Energy Aware IT Systems: Survey and Assessment	Vol. 3	Journal of Green Engineering
A. P. Chandrakasan, S. Sheng, R. W. Brodersen	1992	Low-power CMOS digital design	Vol. 27, No 4	IEEE Journal of Solid-State Circuits
Елизаров, А.С.	1986	Электрорадиоизмерения. Учебник для ВУЗов по специальности «Радиотехника»		Мн. : Выш. шк.
Bowers N.	2006	Digitising linear measurement for greater accuracy		<a href="http://www.electronicsspecifier.com/test-and-measurement/digitising-linear-measurement-for-greater-accuracy">http://www.electronicsspecifier.com/test-and-measurement/digitising-linear-measurement-for-greater-accuracy</a>
Lide Zhang, B. Tiwana, R. P. Dick, et al.	2010	Accurate Online Power Estimation and Automatic Battery Behavior Based Power Model Generation for Smartphones		IEEE/ACM/IFIP International Conference on Hardware/Software Codesign and System Synthesis
Nguyen D.	2003	Minimization of Dynamic and Static Power Through Joint Assignment of Threshold Voltages and Sizing Optimization		Int. Symposium on Low Power Electronics and Design
Pedram M.	1996	Tutorial and survey paper, power	Vol.1, No.1	ACM Trans. on Design

		minimization in IC design: principles and applications		Automation of Electronic Systems
N. Grover, M.K.Son	2012	Reduction of Power Consumption in FPGAs	Vol.5	Int. Journal on Information Engineering and Electronic Business
Ш. Фараг, Б. Сроур	2015	Повышение эффективности энергопотребления для приложений		<a href="http://blogs.msdn.com/b/b8_ru/archive/2012/02/15/improving-power-efficiency.aspx">http://blogs.msdn.com/b/b8_ru/archive/2012/02/15/improving-power-efficiency.aspx</a>
	2014	Energy-Efficient Software Guidelines		<a href="http://software.intel.com/ru-ru/articles/partner-energy-efficient-software-guidelines">http://software.intel.com/ru-ru/articles/partner-energy-efficient-software-guidelines</a>
Е. Бирюков, Д. Василенко	2014	Методы снижения потребления энергии современными портативными устройствами		<a href="http://www.compitech.ru/html.cgi/arhiv/05_06/stat_198.htm">http://www.compitech.ru/html.cgi/arhiv/05_06/stat_198.htm</a>
<b>Additional literature</b>				
	2014	Снижение энергопотребления приложений		<a href="http://software.intel.com/ru-ru/articles/conserving-active-power">http://software.intel.com/ru-ru/articles/conserving-active-power</a>
S. Sinofsky	2012	Повышение эффективности энергопотребления для приложений		<a href="http://blogs.msdn.com/b/b8_ru/archive/2012/02/15/improving-power-efficiency.aspx">http://blogs.msdn.com/b/b8_ru/archive/2012/02/15/improving-power-efficiency.aspx</a>

	2015	Energy Usage Instrument		<a href="https://developer.apple.com/library/ios/documentation/AnalysisTools/Reference/Instruments_User_Reference/EnergyUsageInstrument/EnergyUsageInstrument.html">https://developer.apple.com/library/ios/documentation/AnalysisTools/Reference/Instruments_User_Reference/EnergyUsageInstrument/EnergyUsageInstrument.html</a>
M. Dong, L. Zhong	2011	Dong, M. Self-Constructive High-Rate System Energy Modeling for Battery-Powered Mobile Systems		ACM/USENIX International Conference on Mobile Systems, Applications, and Services
A. Vieira, D. Debastiani, L. Agostini, F. Marques, J. Mattos	2012	An analysis of power and performance of applications for mobile devices with Android OS		South Symposium on Microelectronics

## СОДЕРЖАНИЕ

ПРЕДИСЛОВИЕ.....	3
1 ЛАБОРАТОРНЫЕ РАБОТЫ.....	5
1.1 Методы измерения энергопотребления цифровых вычислительных устройств .....	5
1.2 Исследование статического энергопотребления цифровых вычислительных устройств .....	20
1.3 Исследование динамического энергопотребления цифровых вычислительных устройств .....	34
1.4 Исследование энергопотребления мобильных устройств и приложений на платформе Android .....	44
2 СЕМИНАРЫ.....	54
3 МЕТОДИЧЕСКИЕ РЕКОМЕНДАЦИИ ПО САМОСТОЯТЕЛЬНОЙ РАБОТЕ.....	57
3.1 Пояснения к учебной программе .....	57
3.2 Подготовка к занятиям и экзамену .....	59
ЛИТЕРАТУРА.....	60
АНОТАЦІЯ ТА ЗМІСТ .....	63
ABSTRACT AND CONTENT .....	65
ПРИЛОЖЕНИЕ. УЧЕБНАЯ ПРОГРАММА .....	67









Тарасюк Ольга Михайлівна  
Мазуренко Олександр Володимирович  
Горбенко Анатолій Вікторович

## **ДОСЛІДЖЕННЯ ТА РОЗРОБКА ЕНЕРГОЕФЕКТИВНИХ МОБІЛЬНИХ ТА ВБУДОВАНИХ СИСТЕМ**

**Практикум**  
(російською мовою)

Редактор Харченко В.С.

Комп'ютерна верстка  
Тарасюк О.М.

Зв. план, 2016

Підписаний до друку 26.01.2016

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

Умов. друк. арк. 4,48. Уч.-вид. л. 4,27. Наклад 200 прим.

Замовлення 1. 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.