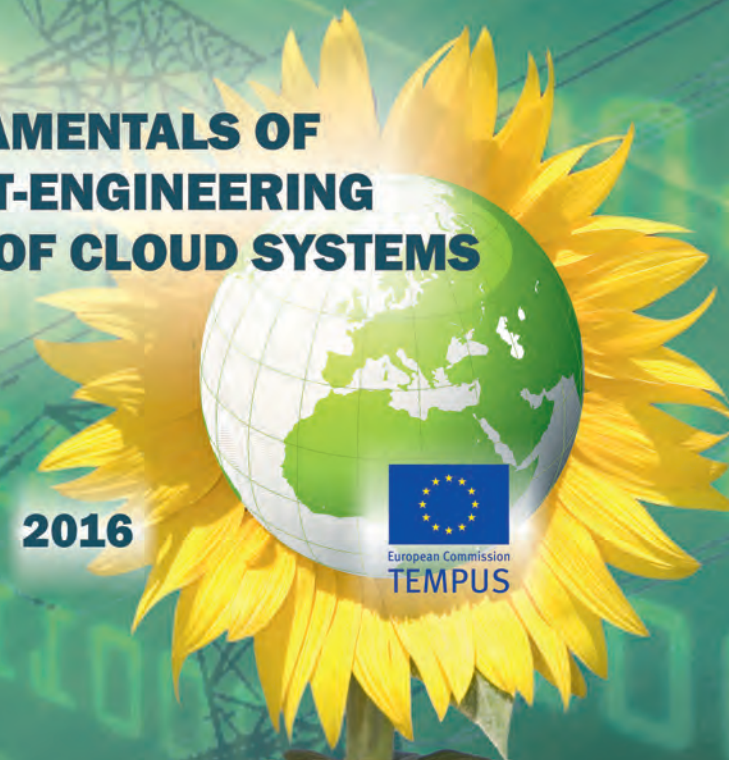




# ОСНОВЫ ЗЕЛеноЙ ИТ-ИНЖЕНЕРИИ. МОДЕЛИРОВАНИЕ ОБЛАЧНЫХ СИСТЕМ

Практикум

# FUNDAMENTALS OF GREEN IT-ENGINEERING MODELLING OF CLOUD SYSTEMS



2016



## PRINCIPLES OF GREEN IT-ENGINEERING

- Challenges and solutions. Life cycle of green IT.
- Gap analysis of IT energy effectiveness
- Recourse-based approach



## MODELLING OF SECURE AND ENERGY SAVING CLOUD SYSTEMS

- IaaS: options and assessment
- Complex model of IaaS Cloud
- Research of energy consumption



## MODELLING OF ENERGY EFFICIENT CLIENT-SERVER CLOUD SYSTEMS

- Research of energy efficiency using metrics PUE and DCiE



## MODELLING OF ENERGY EFFICIENT DISTRIBUTED CLOUD SYSTEMS

- Research of energy consumption of one-rank system



University of Ioannina



МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ

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

**В.С. Харченко, А.В. Дрозд, Ю.Л. Поночовный,  
О.В. Яновская, М.Э. Яновский, А.Ю. Кривцов,  
О.В. Иванченко**

**Основы зеленой ИТ-инженерии.  
Моделирование облачных систем**

**Fundamentals of Green IT Engineering.  
Modelling of Cloud Systems**

**Практикум**

**Под редакцией В.С. Харченко**

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

**2016**



УДК 004.052

O-75

Изложены материалы практической части учебного курса MSc1 «Основы зеленой ИТ-инженерии. Моделирование облачных систем» (Fundamentals of Green IT Engineering and Modeling), подготовленного в рамках проекта TEMPUS GREENCO «Green Computing & Communications» (530270-TEMPUS-1-2012-1-UK-TEMPUS-JPCR).

Курс посвящен описанию основных понятий и принципов зеленой ИТ-инженерии, Gap-анализу энергоэффективности ИТ-систем, исследованию методов моделирования и оценивания энергоэффективности и безопасности облачных ИТ-инфраструктур. Приводится учебная программа курса, дается краткое изложение теоретического материала, описание лабораторных работ, а также методические рекомендации по самостоятельному изучению материала.

Предназначено для студентов, аспирантов и преподавателей университетов, специализирующихся в направлении зеленых информационных технологий в компьютерной инженерии, а также инженеров и исследователей в области разработки и анализа энергоэффективных и безопасных ИТ-систем.

**Рецензенты:**

– Мохор Владимир Владимирович, директор Института проблем моделирования в энергетике им. Г.Е. Пухова Национальной Академии наук Украины, доктор технических наук, профессор;

– Levashenko Vitaly, Dr., Professor, Faculty of Management Science and Informatics University of Zilina, Slovakia.

**O-75 Основы зеленой ИТ-инженерии. Моделирование облачных систем. Практикум.** / Харченко В.С., Дрозд А.В., Поночовный Ю.Л., Яновская О.В., Яновский М.Э., Кривцов А.Ю., Иванченко О.В. Под ред. Харченко В.С. – Министерство образования и науки Украины, Нац. аэрокосмический ун-т им. Н.Е. Жуковского «ХАИ». 2016. – 168 с.

ISBN 978-966-662-717-2

Викладені матеріали практичної частини навчального курсу MSc1 «Основы зеленой ИТ-инженерии. Моделирование хмарних систем» (Fundamentals of Green IT Engineering. Modelling of Cloud Systems), підготовленого в рамках проекту TEMPUS GREENCO «Green Computing & Communications» (530270-TEMPUS-1-2012-1-UK-TEMPUS-JPCR).

Курс присвячений опису основних понять і принципів зеленої ИТ-инженерії, Gap-аналізу енергоефективності ІТ-систем, дослідженню методів моделювання і оцінювання енергоефективності й безпеки хмарних ІТ-інфраструктур. Приводиться навчальна програма курсу, дається стислий огляд теоретичного матеріала, опис лабораторних робіт, а також методичні рекомендації щодо самостійного вивчення матеріалу.

Призначено для студентів, аспірантів і викладачів університетів, які спеціалізуються в напрямку зелених інформаційних технологій в комп'ютерній інженерії, а також інженерів і дослідників у галузі розробки та аналізу енергоефективних і безпечних ІТ-систем.

Библ. – 46 наименований, рисунков – 41, таблиц – 16.

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

УДК 004.052

ISBN 978-966-662-717-2

© Харченко В.С., Дрозд А.В., Поночовный Ю.Л., Яновская О.В., Яновский М.Э., Кривцов А.Ю., Иванченко О.В.

© Национальный аэрокосмический университет им. Н.Е.Жуковского «ХАИ», 2016

## **СПИСОК СОКРАЩЕНИЙ**

CTMC – Continuous Time Markov Chain  
DCcE – Data Center Compute Efficiency  
DCeP – Data Center Energy Productivity  
DCiE – Data Center Infrastructure Efficiency  
DHT – Distributed Hash Table  
DTMC – Discrete Time Markov Chain  
IaaS – Infrastructure as a Service  
PaaS – Platform as a Service  
POD – Point of delivery  
PUE – Power Usage Effectiveness  
RPDE – Resource provisioning decision engine  
SaaS – Software as a Service  
SAN – Storage Area Network  
SLA – Service Level Agreement  
ВМ – виртуальная машина  
ЕМ – естественный мир  
КМ – компьютерный мир  
ПК – персональный компьютер  
ПО – программное обеспечение  
СДУ – система дифференциальных уравнений  
СеМО – сети массового обслуживания  
СЛУ – система линейных уравнений  
СМО – система массового обслуживания  
ЦОД – центр обработки данных

## ПРЕДИСЛОВИЕ

Данное пособие является частью учебно-методического обеспечения учебного курса MSc1 «Основы зеленой IT-инженерии. Моделирование облачных систем» (Fundamentals of Green IT Engineering and Modeling), подготовленного 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, 21].

Курс посвящен изучению основных понятий и принципов зеленой IT-инженерии, Gap-анализу энергоэффективности IT-систем, исследованию методов моделирования и оценивания энергоэффективности и безопасности облачных IT-инфраструктур. Приводится учебная программа курса, дается краткое изложение теоретического материала, описание лабораторных работ, а также методические рекомендации по самостоятельному изучению материала.

Практическая часть курса содержит семинарские занятия и лабораторные работы. Семинары посвящены:

- обсуждению общих положений и принципов зеленой IT-инженерии, особенностей реализации процессов жизненного цикла при создании зеленых IT-систем;

- анализу современных вызовов и направлений развития энергосберегающих и энергоэффективных информационных технологий, методик оценивания и энергооптимизации существующих систем и их компонентов;

- анализу путей совершенствования зеленых технологий методами кратного эффекта улучшения аппаратных решений.

Лабораторные работы позволяют исследовать возможности энергосбережения для современных облачных IT-инфраструктур с учетом безопасности и производительности. Лабораторные работы направлены на:

- исследование возможностей и отработке навыков проведения Gap-анализа энергоэффективности IT-систем;

- изучение вариантов построения облачной инфраструктуры с услугой IaaS и выбора критериев их оценивания (качества обслуживания, доступности и энергоэффективности);

- исследование марковских моделей элементов облачной инфраструктуры с услугой IaaS, позволяющих оценить качество обслуживания, доступность ресурсов и их энергопотребление;

- овладение навыками разработки модели облачной инфраструктуры с услугой IaaS и исследование зависимостей ее результирующих показателей (качества обслуживания, доступности ресурсов и энергопотребления) от входных параметров;

- изучение возможностей использования модели облачной инфраструктуры с услугой IaaS для анализа и расчета показателей энергопотребления;

- оценку метрик энергоэффективности клиент-серверных облачных архитектур и анализ рациональности использования ресурсов;

- исследование энергопотребления элементов одноранговой распределенной облачной системы.

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

Пособие подготовлено коллективом авторов, участниками проекта GreenCo – кафедрами Национального аэрокосмического университета им Н.Е. Жуковского «ХАИ» (д.т.н., профессор Харченко В.С., предисловие, разделы 1,3,5); ассистент Яновская О.В., к.т.н., доцент Яновский М.Э. – раздел 4), Донбасского технического университета (Кривцов А.Ю., раздел 1), Одесского национального политехнического университета (д.т.н., профессор Дрозд А.В., раздел 2), Полтавского национального технического университета им. Юрия Кондратюка (к.т.н., с.н.с. Поночовный Ю.Л., докторант ХАИ, разделы 1,3) и Днепропетровского университета таможенного дела и финансов (к.т.н., доцент Иванченко О.В., докторант ХАИ, раздел 3). Редактирование пособия и разработка программы курса на основе материалов авторов модулей 1-4 выполнено Харченко В.С. (ХАИ).

Пособие и учебный курс предназначены для студентов университетов, обучающихся по направлениям компьютерной и программной инженерии, компьютерных наук, а также для специалистов в области разработки и эксплуатации ИТ-систем с использованием облачных и зеленых технологий, а также может быть полезно 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

УДК 004.052

**Основи зеленої ІТ-інженерії. Моделювання хмарних систем. Практикум** / Харченко В.С., Дрозд О.В., Поночовний Ю.Л., Яновська О.В., Яновський М.Е., Кривцов А.Ю., Іванченко О.В. За ред. Харченка В.С. – Міністерство освіти і науки України, Національний аерокосмічний університет ім. М.С. Жуковського «ХАІ». 2016. – 165 с.

**ISBN 978-966-662-717-2**

У посібнику викладені матеріали практичної частини навчального курсу MSc1 «Основи зеленої ІТ-інженерії. Моделювання хмарних систем» (Fundamentals of Green IT Engineering. Modelling of Cloud Systems), підготовленого в рамках проекту TEMPUS GREENCO «Green Computing & Communications» (530270-TEMPUS-1-2012-1-UK-TEMPUS-JPCR).

Даний курс присвячений опису основних понять і принципів зеленої ІТ-інженерії, Гар-аналізу енергоефективності ІТ-систем, дослідженню методів моделювання і оцінювання енергозастосовності й безпеки хмарних ІТ-інфраструктур. Приводиться навчальна програма курсу, дається короткий виклад теоретичного матеріала, опис семінарів, лабораторних робіт, а також методичні рекомендації щодо самостійного вивчення матеріалу.

Призначено для студентів, аспірантів і викладачів університетів, які спеціалізуються в напрямку зелених інформаційних технологій в комп'ютерній та програмній інженерії, а також інженерів і дослідників у галузі розробки та аналізу енергоефективних і безпечних ІТ-систем.

Бібл. – 46 найменувань, рисунків – 41, таблиць – 16.



**ЗМІСТ**

ПЕРЕЛІК СКОРОЧЕНЬ .....	3
ПЕРЕДМОВА .....	4
1. ВСТУП У ЗЕЛЕНУ ІТ-ІНЖЕНЕРІЮ .....	7
1.1 Семінар. Виклики і рішення у зеленій ІТ-інженерії .....	7
1.2 Семінар. Життєвий цикл і принципи реалізації зелених ІТ .....	15
1.3 Практикум. Гар-аналіз енергоефективності ІТ-систем .....	20
2. РЕСУРСНИЙ ПІДХІД У ЗЕЛЕНИХ ІТ .....	31
2.1 Семінар. Основні положення ресурсного підходу до дослідження розвитку моделей, методів і засобів комп'ютерного світу .....	31
2.2 Семінар. Застосування ресурсного підходу для аналізу і розвитку зелених технологій в комп'ютерних системах .....	36
3. МОДЕЛІ БЕЗПЕЧНИХ І ЕНЕРГОЗБЕРІГАЮЧИХ ХМАРНИХ СИСТЕМ .....	44
3.1 Лабораторна робота. Аналіз варіантів побудови хмарних систем з послугою ІааS та їхніх критеріїв оцінювання .....	44
3.2 Лабораторна робота. Побудова і дослідження моделей типових елементів хмарних систем з послугою ІааS .....	55
3.3 Лабораторна робота. Дослідження комплексної моделі функціонування хмарної системи з послугою ІааS .....	84
3.4 Лабораторна робота. Дослідження енергоспоживання хмарної системи .....	100
4. МОДЕЛІ Й МЕТОДИ ОЦІНКИ ЕНЕРГОЕФЕКТИВНИХ КЛІЄНТ-СЕРВЕРНИХ І РОЗПОДІЛЕНИХ ХМАРНИХ СИСТЕМ .....	111
4.1 Лабораторна робота. Дослідження енергоефективності клієнт-серверних хмарних архітектур на основі розрахунку метрик PUE і DCiE .....	111

4.2 Лабораторна робота. Дослідження енергоспоживання однорангової розподіленої хмарної системи .....	126
5. МЕТОДИЧНІ РЕКОМЕНДАЦІЇ ДО САМОСТІЙНОЇ РОБОТИ .....	140
5.1 Пояснення до навчальної програми .....	140
5.2 Підготовка до занять та екзамену .....	141
5.3 Питання до самостійної роботи .....	142
ЛІТЕРАТУРА .....	143
АНОТАЦІЯ .....	148
ЗМІСТ .....	149
ABSTRACT .....	151
CONTENT .....	152
ДОДАТОК. НАВЧАЛЬНА ПРОГРАМА .....	154

## ABSTRACT

UDC 004.052

**Fundamentals of Green IT Engineering. Modelling of Cloud Systems. Practicum** / Kharchenko V.S., Drozd A.V., Ponochovnyj Yu. L., Yanovska O.V., Yanovsky M.E., Kryvtsov A. Yu., Ivanchenko O.V. Kharchenko V. (ed.). – Department of Education and Science of Ukraine, National aerospace university named after N. Zhukovsky “KhAI”. 2016. – 165 p.

**ISBN 978-966-662-717-2**

Practical materials of a study course of MSc1 “Fundamentals of Green IT Engineering. Modelling of Cloud Systems” are described. The book has been prepared within the framework of project TEMPUS GREENCO "Green Computing & Communications" (530270-TEMPUS-1-2012-1-UK-TEMPUS-JPCR) project.

The course is devoted to analysis of the current state and perspectives of green information technologies development and implementation in computer systems and cloud-based IT-infrastructuresthes. Main concepts and principles of creating and analyzing green IT-systems are reserahced. Curriculum of the course, brief theoretical materials, description of seminars, laboratory works and methodical recommendations for self-sufficient study are given.

The book is intended for university students, postgraduate students and lecturer specializing in the direction of green technologies in computer and software engineering, and also designers and researchers in area of design, development and operation of IT systems based on green and secure cloud technologies.

Ref. – 46 items, figures – 41, tables 16.

## CONTENT

ABBREVIATIONS .....	3
PREFACE .....	4
1. INTRODUCTION INTO GREEN IT-ENGINEERING .....	7
1.1 Seminar.Challenges and solutions in green IT engineering .....	7
1.2 Seminar. Green IT life cycle and principles of implementation ....	15
1.3 Practicum. Gap-analysis of IT-based system efficiency .....	20
2. RESOURCE APPROACH IN GREEN IT .....	31
2.1 Seminar. Fundamentals of resource approach to research of developing models, methods and tools of computer world .....	31
2.2 Seminar. Application of resource approach to analyse and develop green IT in computer systems .....	36
3. MODELS OF SECURE AND ENERGY EFFICIENT CLOUD SYSTEMS .....	44
3.1 Laboratory Work. Analysis of IaaS cloud system architectures and criteria of assessment .....	44
3.2 Laboratory Work. Research of models for typical elements of IaaS cloud systems .....	55
3.3 Laboratory Work. Research of complex model for IaaS cloud system .....	84
3.4 Laboratory Work. Research of power consumption for cloud systems .....	100
4. MODELS AND METHODS FOR ENERGY EFFICIENCY ASSURANCE OF CLIENT-SERVER AND DISTRIBUTED CLOUD SYSTEMS .....	111
4.1 Laboratory Work. Research of energy efficiency of client-server cloud systems by calculation of metrics PUE and DCiE .....	111

4.2 Laboratory Work. Research of power consumption for one-rank distributed cloud systems ..... 126

5. THE GUIDELINES ACCORDING TO SELF-SUFFICIENT WORK ..... 140

5.1 Explanations to the teaching program ..... 140

5.2 Preparation for the lessons and examination ..... 141

5.3 Questions for private study ..... 142

REFERENCES ..... 143

ABSTRACT ..... 151

CONTENT ..... 152

APPENDIX. TEACHING PROGRAM ..... 154

## ПРИЛОЖЕНИЕ. УЧЕБНАЯ ПРОГРАММА

### DESCRIPTION OF THE COURSE

TITLE OF THE COURSE	Code
<b>MSc1. Fundamentals of Green IT Engineering</b>	

Teacher(s)	Department
<b>Coordinating:</b> Prof. Kharchenko V. S. <b>Others:</b> Prof. Drozd A.V., Dr. Ponochovnyj Yu. L., Yanovska O.V., Dr. Yanovsky M.E., Kryvtsov A. Yu., Dr. Ivanchenko O.V.	Computer Systems and Networks, National Aerospace University KhAI

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

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

Prerequisites	
<b>Prerequisites:</b> Computer Systems and System Analysis; Advanced Processor and Cloud Architectures, Probability Theory and Markov's Analysis. Skills in Computer Software for Modeling.	<b>Co-requisites (if necessary):</b> no

Credits of the module	Total student workload	Contact hours	Individual work hours
3	120	54	66

Aim of the module (course unit): competences foreseen by the study programme
The aim of course is, firstly, to study basic concepts and principles of creating green IT-systems, the current state and perspectives of green IT development and implementation, techniques of assessment and modeling of energy efficient and secure cloud systems and, secondly, to obtain skills on analysis of green IT-systems at the different stages of lifecycle, assessment of risks and development of recommendations on greening of such systems. modeling the different cloud architectures in point of view energy efficiency.



<b>Learning outcomes of module (course unit)</b>	<b>Teaching/learning methods</b>	<b>Assessment methods</b>
<p>At the end of course, the successful student will be able:</p> <p>1) to formulate the basic concepts of green IT engineering and explain relation between these concepts and more general aspects of sustainable development and computing;</p>	<p>Interactive lectures, Seminars and analytical reviews, Just-in-Time Teaching</p>	<p>Module Evaluation Questionnaire</p>
<p>2) to conduct gap-analysis of computer systems and to suggest solutions to decrease power consumption and energy efficiency of modernized systems;</p>	<p>Interactive lectures, Practicum in laboratories, Just-in-Time Teaching</p>	<p>Module Evaluation Questionnaire</p>
<p>3) to implement resource-based approach to improve energy related indicators for hardware, FPGA and software-based systems;</p>	<p>Interactive lectures, Seminars and analytical reviews, Just-in-Time Teaching</p>	<p>Module Evaluation Questionnaire</p>
<p>4) to analyze and simulate cloud architecture to assess energy efficiency and other characteristics (on example of IaaS);</p>	<p>Interactive lectures, Learning in laboratories, Just-in-Time Teaching</p>	<p>Module Evaluation Questionnaire</p>
<p>5) to analyse methods and develop models to research energy efficiency of client-server and distributed cloud systems.</p>	<p>Interactive lectures, Learning in laboratories, Just-in-Time Teaching</p>	<p>Module Evaluation Questionnaire</p>

Themes	Contact work hours						Time and tasks for individual work		
	Lectures	Consultations	Seminars	Practical work	Laboratory work	Placements	Total contact work	Individual work	Tasks
<p><b>1. Fundamentals of Green IT Engineering</b></p> <p>1.1. Main concepts and taxonomy of green IT engineering.</p> <p>1.2. Life cycle of green IT systems.</p> <p>1.3. Principles of development and implementation of green ITs.</p> <p>1.4. Risks of green IT implementation.</p> <p>1.5. Gap-analysis of IT-systems.</p>	6		6	4			16	18	<p>1.6. Sustainable development, noocomputing and green IT.</p> <p>1.7. Green IT-office.</p>
<p><b>2. Resource Approach in Green IT Engineering</b></p> <p>2.1. Fundamentals of research approach.</p> <p>2.2. Implementation of resource approach in green IT engineering.</p>	4		2				6	8	<p>2.3. Analysis of multiplicity effect and corresponding solutions.</p>

<p><b>3. Models of Secure and Energy Efficient Cloud Systems</b></p> <p>3.1. Analysis of IaaS cloud system architectures and criteria of assessment using Markov's models.</p> <p>3.2. Models for typical elements of IaaS cloud systems.</p> <p>3.3. Complex model for IaaS cloud systems.</p> <p>3.4. Research of power consumption for IaaS cloud systems.</p>	6			14	20	24	<p>3.5. Security and power consumption issues for cloud systems.</p> <p>3.6. Decision making related to choice of optimal cloud architecture</p>
<p><b>4. Models and Methods for Energy Efficiency of Client-Server and Distributed Cloud Systems</b></p> <p>4.1. Client-server and distributed cloud systems. Basic architectures.</p> <p>4.2. Research of energy efficiency of client-server cloud systems by calculation of metrics PUE and DCiE.</p> <p>4.3. Research of power consumption for one-rank distributed cloud systems.</p> <p>4.4. Comparing and choice of cloud architectures according with multi-criterion.</p>	4			8	12	14	<p>4.5. Tools and techniques to support decision making.</p>
<b>Total</b>	<b>20</b>	<b>8</b>	<b>4</b>	<b>22</b>	<b>54</b>	<b>66</b>	

Assessment strategy	Weight in %	Dead lines	Assessment criteria
Lecture activity, including fulfilling special self-tasks	10	7,14	<p><b>85% – 100%</b> Outstanding work, showing a full grasp of all the questions answered.</p> <p><b>70% – 84%</b> 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><b>60% – 69%</b> 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><b>50% – 59%</b> 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><b>45% – 49%</b> 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><b>40% – 44%</b> There should be some work of some merit. There may be a</p>

			<p>few topics answered partly or there may be scattered or perfunctory knowledge across a larger range.</p> <p><b>20% – 39%</b> 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><b>0% – 19%</b> Very little or nothing that is correct and relevant.</p>
Learning in laboratories, seminars, practicum	30	7,14	<p><b>85% – 100%</b> An outstanding piece of work, superbly organised and presented, excellent achievement of the objectives and evidences.</p> <p><b>70% – 84%</b> Students will show a thorough understanding and appreciation of the material, producing work without significant error or omission. Objectives achieved well. Excellent organisation and presentation.</p> <p><b>60% – 69%</b> 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><b>50% – 59%</b> The work should show evidence that the student has a reasonable understanding of the</p>

			<p>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><b>45% – 49%</b> 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><b>40% – 44%</b> 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><b>20% – 39%</b> 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><b>0% – 19%</b> 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>				
Ed. by V. Kharchenko	2014	Green IT-Engineering. Volume 1. Principles, models, HW&SW		National Aerospace University “KhAI”
C. Pattinson	2012	Does 'thin client' mean 'energy efficiency'?		<a href="http://www.jisc.ac.uk/media/documents/programmes/greeningict/finalreports/ThinCFinalReport.pdf">http://www.jisc.ac.uk/media/documents/programmes/greeningict/finalreports/ThinCFinalReport.pdf</a>
Ed. by V. Kharchenko	2015	Green IT-Engineering. Volume 2. Systems, Industry, SocietyPrinciples, models, HW&SW		National Aerospace University “KhAI”
Ed. by S.Murugesan, G.Gangadharan	2012	Harnessing Green IT: Principles and Practices		J. Wiley and Sons Ltd
Recommendation ITU-T Y.3513	2014	Cloud computing - Functional requirements of Infrastructure as a Service	Standard	Geneva: International Telecommunication Union

NIST Special Publication 800-146	2012	Cloud Computing Synopsis and Recommendations	Standard	Gaithersburg: National Institute of Standards and Technology
A.Yakovlev	2011	Energy-modulated computing		Design, Automation and Test in Europe. Conf., Grenoble, France. <a href="http://async.org.uk/tech-reports/NCL-EECE-MSD-TR-2010-167.pdf">http://async.org.uk/tech-reports/NCL-EECE-MSD-TR-2010-167.pdf</a>
A. P. Chandracasan, R. Sheng, S. Brodersen	1992	Low-Power CMOS Digital Design	Vol. 27, No 4, pp. 473 – 484	IEEE Journal of solid-state circuits
	2010	STMicroelectronics STM8L family power management	AN3147	<a href="http://www.bdtic.com/DownLoad/ST/AN3147.pdf">http://www.bdtic.com/DownLoad/ST/AN3147.pdf</a>
P. Greenhalgh	2011	big.LITTLE Processing with ARM Cortex-A15 & Cortex-A7	White paper ARM,	<a href="http://www.arm.com/files/downloads/big_LITTLE_Final_Final.pdf">http://www.arm.com/files/downloads/big_LITTLE_Final_Final.pdf</a>
	2013	PowerPlay Early Power Estimator. User Guide		Altera Corporation
A. Drozd, S. Mileiko, V.Kalinichenko, N. Ulchenko	2014	Estimation of power consumption distribution in a FPGA project	No1 (89)	Electrotechnic and Computer Systems
G. Cook, J. Horn	2011	How dirty is your data? A Look at the Energy Choices That Power Cloud Computing		Greenpeace International, Amsterdam

G. Cook	2012	How Clean is Your Cloud?		Greenpeace International, Amsterdam
O. Yanovskaya, M. Yanovsky, V. Kharchenko	2014	The concept of green Cloud infrastructure based on distributed computing and hardware accelerator within FPGA as a Service,		East-West Design & Test IEEE Symposium Kyiv, Ukraine
<b>Additional literature</b>				
J. Drozd, A. Drozd, M. Al-dhabi	2015	A resource approach to on-line testing of computing circuits		IEEE East-West Design & Test Symposium. Batumi, Georgia
P. Srisuresh, B. Ford, D. Kegel	2009	RFC 5128. State of Peer-to-Peer Communication across Network Address Translators		IETF
J. Drozd, A. Drozd, S. Antoshchuk, V. Kharchenko	2013	Natural development of the resources in design and testing of the computer systems and their components	pp. 233 – 237	7th IEEE International Conference on Intelligent Data Acquisition and Advanced Computing Systems, Berlin, Germany
L. A. Barroso U. Hölzle	2007	The case for energy-proportional computing	Vol. 40, Dec., pp. 33 – 37	Computer

## СОДЕРЖАНИЕ

СПИСОК СОКРАЩЕНИЙ .....	3
ПРЕДИСЛОВИЕ .....	4
1. ВВЕДЕНИЕ В ЗЕЛЕНУЮ ИТ-ИНЖЕНЕРИЮ .....	7
1.1 Семинар. Вызовы и решения в зеленой ИТ-инженерии .....	7
1.2 Семинар. Жизненный цикл и принципы реализации зеленых ИТ ..	15
1.3 Практикум. Гар-анализ энергоэффективности ИТ-систем .....	20
2. РЕСУРСНЫЙ ПОДХОД В ЗЕЛЕННЫХ ИТ .....	31
2.1 Семинар. Основные положения ресурсного подхода к исследованию развития моделей, методов и средств компьютерного мира .....	31
2.2 Семинар. Применение ресурсного подхода для анализа и развития зеленых технологий в компьютерных системах .....	36
3. МОДЕЛИ БЕЗОПАСНЫХ И ЭНЕРГОСБЕРЕГАЮЩИХ ОБЛАЧНЫХ СИСТЕМ .....	44
3.1 Лабораторная работа. Анализ вариантов построения облачных систем с услугой IaaS и их критериев оценивания .....	44
3.2 Лабораторная работа. Построение и исследование моделей типовых элементов облачных систем с услугой IaaS .....	55
3.3 Лабораторная работа. Исследование комплексной модели функционирования облачной системы с услугой IaaS .....	84
3.4 Лабораторная работа. Исследование энергопотребления облачной системы .....	100
4. МОДЕЛИ И МЕТОДЫ ОЦЕНКИ ЭНЕРГОЭФФЕКТИВНЫХ КЛИЕНТ-СЕРВЕРНЫХ И РАСПРЕДЕЛЕННЫХ ОБЛАЧНЫХ СИСТЕМ .....	111
4.1 Лабораторная работа. Исследование энергоэффективности клиент-серверных облачных архитектур на основе расчета метрик PUE и DCiE .....	111
4.2 Лабораторная работа. Исследование энергопотребления одноранговой распределенной облачной системы .....	126

5. МЕТОДИЧЕСКИЕ РЕКОМЕНДАЦИИ ПО САМОСТОЯТЕЛЬНОЙ РАБОТЕ .....	140
5.1 Пояснения к учебной программе .....	140
5.2 Подготовка к занятиям и экзамену .....	141
5.3 Вопросы для самостоятельной работы .....	142
ЛИТЕРАТУРА .....	143
АНОТАЦІЯ .....	148
ЗМІСТ .....	149
ABSTRACT .....	151
CONTENT .....	152
ПРИЛОЖЕНИЕ. УЧЕБНАЯ ПРОГРАММА .....	154

Для заметок

---



Харченко Вячеслав Сергійович  
Дрозд Олександр Валентинович  
Поночовний Юрій Леонідович  
Яновська Ольга Володимирівна  
Яновський Максим Едуардович  
Кривцов Андрій Юрійович  
Іванченко Олег Васильович

**ОСНОВИ ЗЕЛЕНОЇ ІТ-ІНЖЕНЕРІЇ.  
МОДЕЛЮВАННЯ ХМАРНИХ СИСТЕМ**

Практикум  
(російською мовою)

**Редактор Харченко В.С.**

Комп'ютерна верстка  
Харченко Л.Д.

Зв. план, 2016

Підписаний до друку 05.06.2016

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

Умов. друк. арк. 9,77. Уч.-вид. л. 9,3. Наклад 200 прим.

Замовлення 57. Ціна вільна

---

Національний аерокосмічний університет ім. М. С. 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.