

УДК 004.9:504.064

doi: 10.33933/2074-2762-2021-62-127-138

Пути создания зеленых информационных технологий

*М.О. Колбанёв¹, И.И. Палкин²,
Е.Д. Пойманова², Т.М. Татарникова²*

¹ Санкт-Петербургский экономический университет, Санкт-Петербург

² Российский государственный гидрометеорологический университет, Санкт-Петербург, tm-tatarn@yandex.ru

Обсуждается проблема создания зеленых информационных технологий. Дается характеристика физическим ресурсам, необходимым для реализации информационных процессов хранения, передачи и обработки данных. Приводится ресурсная модель выбора информационных технологий для реализации информационных процессов хранения, передачи и обработки данных. Перечисляются основные организационные и информационно-технологические способы перехода к зеленым информационным технологиям, направленные на рациональное энергопотребление.

Ключевые слова: информационные технологии, физические ресурсы, ресурсная модель, переход к зеленым информационным технологиям, рациональное использование физических ресурсов.

The challenges of the digital economy

*М.О. Kolbanev¹, I.I. Palkin²,
E.D. Poymanova², T.M. Tatarnikova²*

¹ Saint-Petersburg State University of Economics, Saint-Petersburg, Russia

² Russian State Hydrometeorological University, Saint-Petersburg, Russia

The article discusses the problem of creating green information technologies — the problem of sustainable consumption of physical resources required for implementation of information processes of transferring, processing and storing of data. Time and volume have always been the indicators of the effectiveness of information technology, but estimation of energy consumption has become relevant with the advent of multi-core processors, data centers, wireless Internet and other information technologies, which require significant amounts of energy. Research in the field of rational energy consumption is called "Green IT", which is the study of ways to reduce harmful effects on humans and the environment, efficiently use natural resources and at the same time increase the systems performance per unit of physical resources consumed. A general assessment of these methods is given. The purpose of the article is to analyze the ways of developing green information technologies and give general recommendations for saving energy consumed by systems when automating information processes. To implement information processes of storing, transferring and processing of data the article provides the resource model of choice, as well as the characteristics of physical resources required. The main organizational ways and information technology ways of transition to green information technologies for rational energy consumption are listed. The former are aimed at saving computing power, the latter — at improving hardware components of computer technology and soft- and hardware solutions. The article provides an example of using the resource model of choice for information process of data storing.

Keywords: information technologies, physical resources, resource model, transition to "green IT", sustainable use of physical resources.

For citation: M.O. Kolbanev, I.I. Palkin, E.D. Poymanova, T.M. Tatarnikova. The challenges of the digital economy. *Gidrometeorologiya i Ekologiya*. Journal of Hydrometeorology and Ecology (Proceedings of the Russian State Hydrometeorological University). 2021. 62: 127—138. [In Russian]. doi: 10.33933/2074-2762-2021-62-127-138

Введение

Масштабы цифровой трансформации общества делают актуальной проблему рационального потребления физических ресурсов, необходимых для выполнения информационных процессов — передачи, обработки и хранения данных. Если в 2002 г., по оценкам экспертов, объемы аналоговых и цифровых данных сравнивались, то в настоящее время более 90 % всех данных — цифровые, их объем достиг порядка 40 Збайт ($40 \cdot 10^{21}$ байт) и продолжает расти. Главным источником роста являются автоматически генерируемые данные — платежные системы, системы видеонаблюдения, RFID-метки и сенсорные сети, медицинские системы, бытовая техника, игрушки и т. п. [1]

К физическим ресурсам относятся время и объем реализации информационного процесса и требуемое энергопотребление. Любой информационный процесс может быть реализован соответствующей информационной технологией (ИТ). Если время и объем всегда были показателями эффективности информационных технологий, то оценка энергопотребления стала актуальна последние 10—12 лет с появлением многоядерных процессоров, центров обработки данных, беспроводного интернета и других ИТ, требующих для своей реализации значительных объемов энергии [2]. Исследования в этой области получили название «Зеленые информационные технологии» (Green IT).

Зеленые информационные технологии — это совокупность способов, призванных уменьшать вредное воздействие на человека и окружающую среду, эффективно использовать ресурсы, которые предоставляет природа и одновременно повышать производительность систем в расчете на единицу потребляемых физических ресурсов [3].

Дадим общую оценку этим способам. Цель статьи — анализ путей создания зеленых информационных технологий и выработка общих рекомендаций по экономии электроэнергии, потребляемой системами в процессе автоматизации информационных процессов.

Объектом исследования являются информационные технологии передачи, обработки и хранения данных. Предметом исследования — физические ресурсы, необходимые для реализации этих технологий.

Обсуждаемые задачи:

- 1) общий анализ проблемы создания зеленых информационных технологий;
- 2) классификация и оценка объемов физических ресурсов, требуемых информационным технологиям;
- 3) анализ путей уменьшения объемов физических ресурсов, потребляемых информационными технологиями.

Общий анализ проблемы создания зеленых информационных технологий

В экономике различают материальные и нематериальные (информационные) ресурсы. К последним относят программное обеспечение и базы данных. Различия между материальными и информационными технологиями с точки зрения потребления ими ресурсов далеко не очевидны. Например, экономия бумаги при использовании системы электронного документооборота ведет к сопоставимому повышению затрат электроэнергии. Экологические проблемы возникают как раз из-за того, что информационные ресурсы материальны [4].

Интересны следующие факты, демонстрирующие сопоставимость объемов потребляемой энергии современными информационными технологиями и материальных технологий.

Например, для работы самого большого в мире судна-контейнеровоза «Emma Maersk» (параметры: площадь палубы $\sim 22\,220\text{ м}^2$; скорость — 25,6 узла (47,4 км/час), время перехода Европа—Америка — 10—20 суток) необходима энергетическая установка мощностью 81 МВт. В то же время для функционирования самого крупного в Европе ЦОД (центра обработки данных) Сбербанка РФ (параметры: общая площадь здания около $16\,500\text{ м}^2$, площадь ИТ-залов — 5000 м^2 , объем сохраняемых данных измеряется в Пбайтах, время перемещения данных по каналу 10 Гбит/с — 10 суток) необходима потребляемая мощность около 25 МВт.

Или, например, Мамаканская ГЭС, представляющая собой бетонную плотину площадью $345 \times 57\text{ м}^2$ и образующая небольшое водохранилище площадью $10,82\text{ км}^2$, вырабатывает мощность 86 МВт. Для сравнения суперкомпьютер Tianhe-2 (3,12 млн шт. вычислительных ядер, оперативной памятью $1,024\text{ Пбайт}$ и производительностью $\sim 34\text{ Пфлоп/с}$) потребляет мощность, равную 24 МВт.

Примеров по вполне соизмеримым затратам энергии материальными и информационными технологиями можно привести немало, и все они подтверждают актуальность основного тезиса о том, что энергия — это главный физический ресурс, который требуется современным информационным технологиям. Рациональное потребление энергии признано ИТ-экспертами самым эффективным способом перехода к Зеленым информационным технологиям.

Известно, что на снабжение информационного и телекоммуникационного оборудования по всему миру сейчас тратится более 20 % от всей вырабатываемой электроэнергии. Основными потребителями электроэнергии являются: терминальные устройства, оборудование сетей, центры обработки данных. Если учесть, что всего в мире несколько миллиардов компьютеров, значит, потребляемая мощность этой техникой достигает сотен миллиардов Вт, не считая энергозатраты на работу инженерных систем, поддерживающих работу компьютеров, например, кондиционеров [5].

Необходимо учесть, что к терминальным устройствам относятся и коммуникаторы, количество которых увеличивается быстрее числа жителей Земли. Средний коммуникатор потребляет около 100 Вт. Это означает, что при прогнозируемом росте объем энергопотребления коммуникаторами приближается к триллиону Вт.

Эти объемы будут еще расти в связи с появлением и развитием технологии «умных» вещей [6].

«Умная» вещь — это новый тип сетевого терминала, она может быть физической или виртуальной, но главное — это то, что вещь можно идентифицировать и подключить к сети связи. Данная технология получила название «Интернет вещей». Примерами «умных» вещей могут служить приборы для мониторинга окружающей среды, интернет-счетчики, брелоки локальной навигации, медицинские приборы на теле человека, приборы контроля за животными и автомобилями и т. д. [7].

Интернет вещей стал крупнейшей составной частью рынка ИТ, маркетинговые данные ИТ-компаний показывают, что количество вещей, подключенных к интернету в 2020 г. превысило на несколько порядков число людей, пользующихся ими. Таким образом, в обозримом будущем следует ожидать скачок энергопотребления вследствие роста цифровых данных, хранимых в интернете вещей. Следовательно, применительно к «умным» вещам проблема зеленых ИТ становится еще актуальней. Огромное количество «умных» вещей — это новая экологическая проблема, которая диктует искать и развивать способы экономии энергии зелеными информационными технологиями.

Классификация и оценка объемов физических ресурсов, требуемых информационным технологиям

Информационные технологии реализуют информационные процессы передачи, хранения и обработки данных. Любые информационные преобразования в свою очередь требуют времени, объема и энергии — физических ресурсов, потребление которых ограничено физическими законами. Например, невозможно сконцентрировать слишком большую массу данных в ограниченном объеме памяти или обработать данные при низком потреблении энергии или передать данные на расстояния за слишком короткий промежуток времени [8]. В табл. 1 приведены характеристики физических ресурсов информационных процессов.

Таблица 1

Характеристики физических ресурсов информационных процессов

Characteristics of physical resources of information processes

Информационный процесс	Физические ресурсы		
	Объем	Время	Энергия
Передача	Дальность распространения сигнала	Время доставки	Энергозатраты на распространение сигнала
Хранение	Плотность записи	Гарантированное время хранения	Энергозатраты для записи / считывания данных на носитель
Обработка	Технологический процесс	Время переключения транзистора	Энергозатраты на переключение транзистора

Никакой информационный процесс нельзя реализовать, если отсутствует хотя бы один из физических ресурсов.

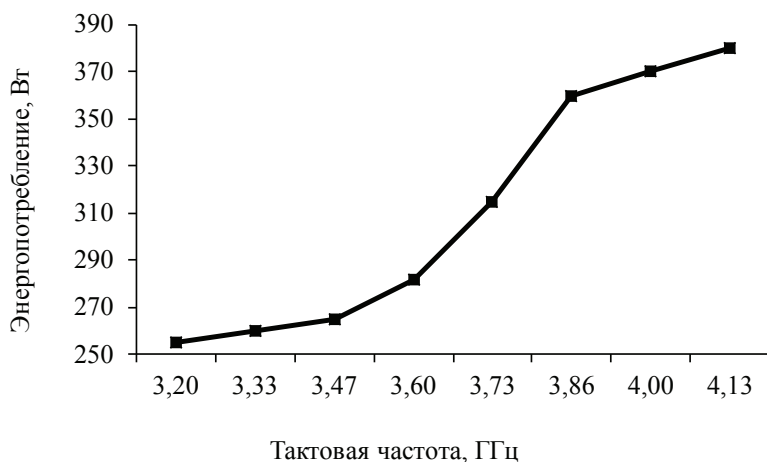


Рис. 1. Зависимость энергопотребления от тактовой частоты процессора.

Fig. 1. Dependence of power consumption on the clock frequency of the processor.

Принцип Р. Ландауэра устанавливает связь между объемом данных и энергозатратами: независимо от физики и технологии вычислительного процесса при потере одного бита данных в процессе вычисления как минимум выделяется энергия E , в Дж, равная [9]

$$E = k_B \times T \times \ln 2, \quad (1)$$

где k_B — постоянная Больцмана, определяющая связь между температурой T окружающей среды и энергией E .

Соответственно, для оценки потребляемой энергии для данных объема V выражение (1) примет следующий вид:

$$E = k_B \times T \times \ln(V \times \tau), \quad (2)$$

где τ — время, необходимое для реализации вычислительного процесса над данными объема V .

Принцип Ландауэра означает, что компьютер потребляет тем меньше энергии, чем меньше вычислительных операций он выполняет. На рис. 2 приведена зависимость энергопотребления от тактовой частоты процессора Core i7.

Выражение (1) позволяет не только оценить энергозатраты, необходимые для информационной технологии, но и определить минимально возможный уровень энергопотребления для преобразования одного бита.

Для описания ресурсного обеспечения базовых информационных технологий может быть использован параллелепипед (рис. 2), грани которого отображают нижние и верхние границы объема, времени и энергии, необходимые информационным технологиям. Ось ординат (S) отображает объемные параметры технологии. Ось аппликат (E) отображает энергетические параметры технологии. Ось абсцисс (T) отображает временные параметры технологии. Точки, лежащие в пределах объема параллелепипеда и имеющие координаты $0 \leq S \leq S^{\max}$, $0 \leq T \leq T^{\max}$,

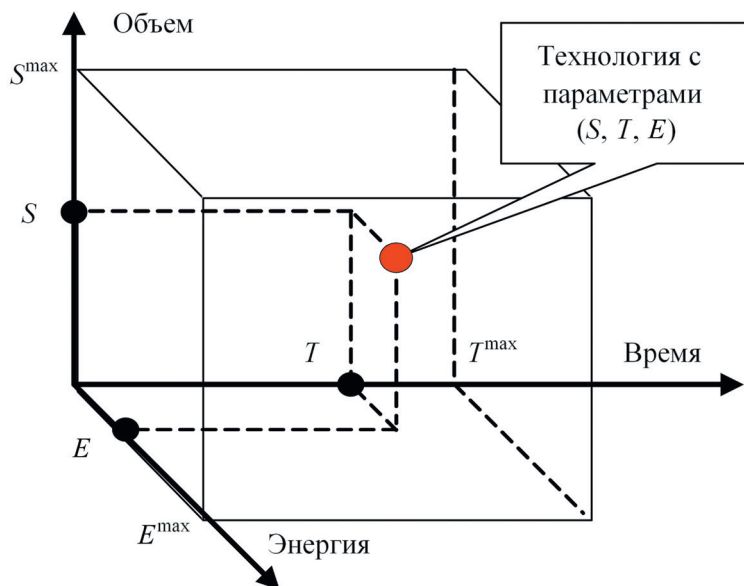


Рис. 2. Модель физических ресурсов информационных процессов.

Fig. 2. Model of physical resources of information processes.

$0 \leq E \leq E^{\max}$, соответствуют некоторым уже реализованным или еще разрабатываемым технологиям.

Выбор того или иного решения должен основываться на использовании обобщенного критерия или сравнении доступных технологий друг с другом по всем физическим характеристикам [10]. В процессе такого сравнения следует, используя принцип Парето, удалить из рассматриваемого набора такие технологии, которые заведомо хуже других по объемным, временным и энергетическим характеристикам в совокупности. Если количество технологий, превосходящих другие хотя бы по одному показателю, останется достаточно много, то следует применить один из методов многокритериального выбора.

Комплексный учет всех физических ресурсов позволяет оценивать эффективность зеленых информационных технологий, например:

- объемом энергии, потребляемой в расчете на единицу информационных услуг;
- стоимостью транзакций в киловатт-часах;
- объемами выбросов углерода в пересчете на один сервер или на группу пользователей;
- соотношением энергопотребления информационного оборудования и инженерных систем; поддерживающим его работу;
- энергопотреблением на 1 кв. м. площади технических помещений и т. п.

Предложенный подход развивает традиционные схемы оптимизации производительности информационных систем за счет выбора числа обслуживающих

устройств, их быстродействия и надежности без учета объемов потребляемых при этом физических ресурсов и применим к широкому кругу информационных процессов и технологий.

Анализ путей уменьшения объемов физических ресурсов, потребляемых информационными технологиями

На рис. 3 приведены способы уменьшения объемов физических ресурсов, потребляемых информационными технологиями.

Организационные способы направлены на экономию вычислительной мощности и подразумевают выполнение следующих простых действий от пользователя вычислительной техникой [11]:

- рациональный выбор размера и яркости экрана мониторов;
- перевод компьютеров в экономный режим потребления энергии в паузах использования;
- отключение всех неиспользуемых устройств от электрических розеток, включение внешних устройств только при необходимости;
- своевременное завершение выполнения всех неиспользуемых программ и закрытие всех ненужных сетевых подключений и т. п.

С 1992 г. на американском рынке действует международный стандарт энергоэффективности потребительских товаров Energy Star, в первую очередь оргтехники. В 2011 г. к использованию стандарта присоединились страны — члены Европейского Союза, а также Австралия, Канада, Новая Зеландия, Тайвань, Швейцария и Япония. Если устройство сертифицировано по стандарту Energy Star, то это значит, что энергопотребление товара снижено на 20—30 % по сравнению с аналогами, а в режиме бездействия на 60—80 %. Energy Star редактируется примерно один раз в 2 года, ориентируясь при этом на самую высокопроизводительную технику, представленную на рынке.

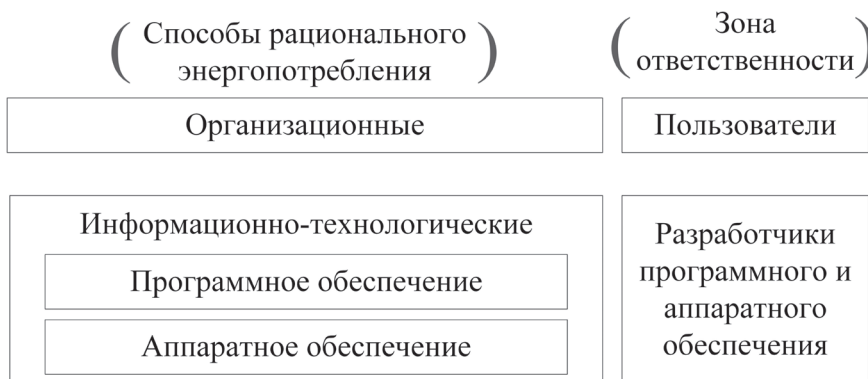


Рис. 3. Способы уменьшения объемов физических ресурсов, потребляемых информационными технологиями.

Fig. 3. Ways to reduce the amount of physical resources consumed by information technology.

Информационно-технологические способы направлены на совершенствование элементной базы компьютерной техники и программно-аппаратных решений, при которых разработчики программного и аппаратного обеспечения ставят своей целью [12, 13]:

— уменьшение техпроцесса, появление новых типов транзисторов, уменьшение напряжения питания и др.;

— повышение надежности компонентов, качества каналов связи, пропускной способности;

— автоматическое отключение в режиме бездействия отдельных ядер, кэш-памяти, участков интегрированного графического ядра и др.;

— виртуализация — запуск нескольких рабочих процессов приложений на одном компьютере;

— создание новых принципов проектирования информационных систем, например переход от реляционной модели базы данных к модели NoSQL, организация иерархического хранения данных [14], работа в облаке.

Благодаря появлению новых информационных технологий энергетическая эффективность компьютеров удваивается каждые 1,6 года на протяжении уже 65 лет.

Информационно-технологические способы позволяют оптимизировать расход энергии с соблюдением допустимых значений на другие физические ресурсы — время и/или объем [15].

Пример модели физических ресурсов для информационного процесса хранения данных

В качестве примера рассмотрим технологии хранения больших данных, которым также требуются все большие объемы физических ресурсов. В табл. 2 приведены характеристики различных типов носителей информации¹ — существующих технологий хранения данных.

На рис. 4 в качестве примера сравниваются 3 технологии хранения данных, требующие разного количества энергии, временных и объемных ресурсов:

1 — твердотельный накопитель;

2 — вольфрамовый диск;

3 — магнитооптический диск.

Набор параметров задачи оптимизации зависит, при этом, от вида базовой технологии сохранения данных. Оптимизируемыми параметрами могут являться, например, скорость вращения и количество одновременно вращающихся дисков, плотность дисков на стойке, пространственные, временные и энергетические характеристики роботизированных систем, объемы сохраняемых данных и другие параметры. Критериями эффективности можно выбирать потребляемые физические ресурсы системы, а в качестве ограничений — вероятностно-временные

¹ Для каждого носителя отобраны лучшие значения характеристик, достигнутые в той или иной технологии (времени хранения, объем данных на носителе и плотность записи), в том числе указаны характеристики прототипов носителей.

Таблица 2

Характеристики различных типов носителей информации

Characteristics of various types of media

Вид носителя	Характеристика			
	Время хранения, лет	Объем данных на одном носителе, байт	Плотность записи, бит/(дюйм)	Энергетический барьер*
Магнитный диск	5	6 442 450 944 (6 ТБ)	643 000 000 000	$1,44113 \cdot 10^{-19}$
Магнитная лента	50	4 294 967 296 (4 ТБ)	29 500 000 000	$1,32896 \cdot 10^{-19}$
Твердотельный накопитель	100	10^9	~ 593 883 752	$1,23988 \cdot 10^{-19}$
CD	100	921 600 (900 МБ)	~ 421 365	$9,50372 \cdot 10^{-20}$
DVD (двуслойный двусторонний DVD-18)	100	17 825 792 (17 ГБ)	~ 8 150 137	$1,07307 \cdot 10^{-19}$
BD (четырёхслойный)	100	134 217 728 (128 ГБ)	~ 61 365 742	$1,15669 \cdot 10^{-19}$
M-диск (DVD)	10^3	4 928 307 (4,7 ГБ)	~ 2 253 273	$9,24445 \cdot 10^{-20}$
M-диск (BD)	10^3	26 214 400 (25 ГБ)	~ 11 985 497	$9,93672 \cdot 10^{-20}$
Стекланный диск	10^6	386 547 056 640 (360 ТБ)	~ 176 733 337 278	$1,10513 \cdot 10^{-19}$
Вольфрамовый диск (QR-код)	10^6	~ 1 048 576 (1 ГБ)	~ 479 420	$5,74217 \cdot 10^{-20}$
Магнитооптический накопитель (5,25 дюйма)	50	9 542 042 (9,1 ГБ)	~ 3 526 329	$1,0759 \cdot 10^{-19}$
1 грамм биоматериала	50	$2,2 \cdot 10^{12}$ (2,2 ПБ)	$17,6 \cdot 10^{12}$ бит на грамм	$1,58738 \cdot 10^{-19}$
Бактерии (1 грамм)	10^3	94 371 840 (90 ГБ)	754 974 720 бит на грамм	$1,04673 \cdot 10^{-19}$

* Энергетические характеристики получены по выражению (3).

характеристики производительности и доступа, размеры производственных помещений, возможности силовых агрегатов и т. п.

Заключение

Зеленые информационные технологии — это тренд современного цифрового общества. Эффективным способом перехода к зеленым информационным технологиям является экономия энергии.

Перед IT-специалистом встает задача совершенствования существующих и поиск новых информационно-технологических способов экономии энергии — информационные технологии должны становиться «зеленее». В этом направлении появляются международные стандарты типа Energy Star, которые регулируют качественные характеристики энергии источников питания, регламентируют характеристики потребляемой мощности для разных режимов работы; развиваются технологии виртуализации, облачных вычислений; создаются новые подходы к проектированию информационных систем, способствующие рациональному управлению объемами данных.

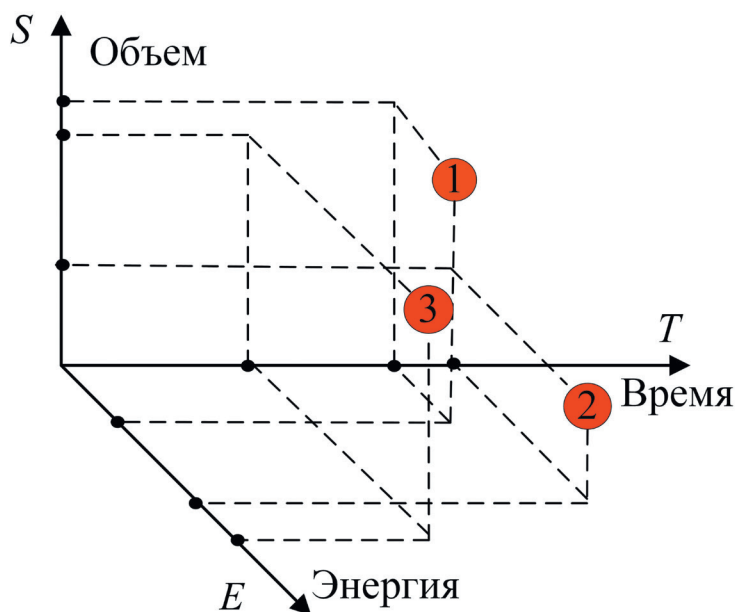


Рис. 4. Ресурсная модель использования информационных технологий.

Fig. 4. Resource model of information technology use.

В обозримом будущем произойдет скачок энергопотребления вследствие роста объемов цифровых данных, хранимых в интернете вещей. Наступает новая волна информационной революции, требующая сказать таким молодым, но уже старым технологиям проводного интернета, реляционным базам данных, «толстого клиента» и другим: «Подвиньтесь!»

Несмотря на кажущуюся очевидность затронутой в статье задачи, переход на зеленые информационные технологии только приобретает актуальность. Использовать организационные и информационно-технологические способы экономии энергии зелеными информационными технологиями следует, начиная с университетов, воспитывая у студентов соответствующее отношение к будущей профессии и природе.

Список литературы

1. Шваб К. Глобализация 4.0. Новая архитектура для четвертой промышленной революции // Евразийская интеграция: экономика, право, политика. 2019. № 1(27). С. 79—84.
2. Kern E., Dick M., Naumann S., Hiller T. Impacts of software and its engineering on the carbon footprint of ICT // Environmental Impact Assessment Review. 2015. V. 52. P. 53—61. doi: 10.1016/j.eiar.2014.07.003.
3. Кричевский Г.Е. Экология и «Зеленые технологии». Как сдержать превращение биосферы в техносферу? // НБИКС — Наука. Технологии. 2019. Т. 3, № 8. С. 22—26.
4. Боков С.И. О роли обеспечения системы управления цифровой экономикой России на основе организации единого информационного пространства // Наноиндустрия. 2019. Т. 12. С. 135—139.

5. Попов Е.В., Семячков К.А., Файрузова Д.Ю. Приоритеты экономической политики в развитии цифровой экономики // Национальные интересы: приоритеты и безопасность. 2019. Т. 13. Вып. 7. С. 1198—1214. doi: 10.24891/ni.15.7.1198.
6. Гулин К.А., Усков В.С. О роли интернета вещей в условиях перехода к четвертой промышленной революции // Проблемы развития территории. 2017. № 4 (90). С. 112—131. doi: 10.22184/NanoRus.2019.12.89.135.139.
7. Татарникова Т.М., Палкин И.И. Применение парадигмы интернета вещей в концепции «умного города» // Ученые записки РГГМУ. 2019. № 57. С. 187—197. doi: 10.33933/2074-2762-2019-57-187-197.
8. Тюрин С.Ф. Обзор технологий зелёного компьютеринга // Вестник Пермского национального исследовательского политехнического университета. Электротехника, информационные технологии, системы управления. 2015. № 13. С. 40—74.
9. Kish L.B., Granqvist C.G. Does information have mass? // Proceedings of the IEEE. 2013. V. 101. No. 9. P. 1895—1899. doi: 10.1109 / JPROC.2013.2273720.
10. Rohn H., Pastewski N., Lettenmeier M., Wiesen K., Bienge K. Resource efficiency potential of selected technologies, products and strategies // Science of the Total Environment. 2014. V. 473—474. P. 32—35. doi: 10.1016/j.scitotenv.2013.11.024.
11. San Murugesan. Harnessing Green IT: Principles and Practices // IEEE IT Professional. 2008. P. 24—33. doi: 10.1109 / MITP.2008.10.
12. Webber L., Wallace M. Green Tech // Green Tech — Business Book Summaries. 2010. V. 1(1). P. 1—10.
13. Uddin M., Rahman A.A. Energy efficiency and low carbon enabler green IT framework for data centers considering green metrics // Renewable & Sustainable Energy Reviews. 2012. V. 16(6). P. 4078—4094. doi: 10.1016/j.rser.2012.03.014.
14. Татарникова Т.М., Пойманова Е.Д. Энергетическая модель процесса хранения данных // Информатика и космос. 2019. № 1. С. 89—95.
15. Егорова М.С., Цубрович Я.А. Анализ востребованности «зеленых» технологий в России // Международный журнал прикладных и фундаментальных исследований. 2015. № 5-2. С. 305—307.

References

1. Schwab K. Globalization 4.0. New architecture for the fourth industrial revolution. *Yevraziyskaya integratsiya: ekonomika, pravo, politika*. Eurasian integration: economics, law, politics. 2019, 1 (27): 79—84. [In Russian].
2. Kern E., Dick M., Naumann S., Hiller T. Impacts of software and its engineering on the carbon footprint of ICT. *Environmental Impact Assessment Review*. 2015, 52: 53—61. doi: 10.1016/j.eiar.2014.07.003.
3. Krichevsky G.E. Ecology and Green Technologies. How to contain the transformation of the biosphere into a technosphere? *NBIKS — Nauka. Tekhnologii*. NBIKS-Science. Technologies. 2019, 3(8): 22—26. [In Russian].
4. Bokov S.I. On the role of providing a system for managing the digital economy of Russia based on the organization of a single information space. *Nanodustriya*. Nanodustriya. 2019, 12: 135—139. [In Russian].
5. Popov E.V. Semyachkov K.A., Fayruzova D.Yu. Priorities of economic policy in the development of the digital economy. *Natsional'nyye interesy: priority i bezopasnost'*. National interests: priorities and security. 2019, 13(7): 1198—1214. [In Russian]. doi: 10.24891/ni.15.7.1198.
6. Gulin K.A., Uskov V.S. On the role of the Internet of things in the transition to the fourth industrial revolution. *Problemy razvitiya territorii*. Problems of the development of the territory. 2017. 4(90): 112—131. doi: 10.22184/NanoRus.2019.12.89.135.139.
7. Tatarnikova T.M., Palkin I.I. The use of the paradigm of the Internet of things in the concept of “smart city”. *Uchenyye zapiski Rossiyskogo gosudarstvennogo gidrometeorologicheskogo universiteta*. Scientific notes of the Russian State Hydrometeorological University. 2019, 57: 187—197. [In Russian]. doi: 10.33933/2074-2762-2019-57-187-197.
8. Tyurin S.F. Review of green computing technologies. *Vestnik Permskogo natsional'nogo issledovatel'skogo politekhnicheskogo universiteta. Elektrotehnika, informatsionnyye tekhnologii, sistemy*

- upravleniya*. Bulletin of the Perm National Research Polytechnic University. Electrical engineering, information technology, control systems. 2015, 13: 40—74. [In Russian].
9. *Kish L.B., Granqvist C.G.* Does information have mass? Proceedings of the IEEE. 2013, 101(9): 1895—1899. doi: 10.1109 / JPROC.2013.2273720.
 10. *Rohn H., Pastewski N., Lettenmeier M., Wiesen K., Bienge K.* Resource efficiency potential of selected technologies, products and strategies. Science of the Total Environment. 2014, 473—474: 32—35. doi: 10.1016/j.scitotenv.2013.11.024.
 11. *San Murugesan.* Harnessing Green IT: Principles and Practices. IEEE IT Professional. 2008: 24—33. doi: 10.1109 / MITP.2008.10.
 12. *Webber L., Wallace M.* Green Tech. Green Tech — Business Book Summaries. 2010, 1(1): 1—10.
 13. *Uddin M., Rahman A. A.* Energy efficiency and low carbon enabler green IT framework for data centers considering green metrics. Renewable & Sustainable Energy Reviews. 2012, 16(6): 4078—4094. doi: 10.1016/j.rser.2012.03.014.
 14. *Tatarnikova T.M., Poimanova E.D.* Energy model of the data storage process. *Informatsiya i kosmos*. Information and Space. 2019, 1: 89—95. [In Russian].
 15. *Egorova M.S., Tsubrovich Ya.A.* Analysis of the demand for “green” technologies in Russia. *Mezhdunarodnyy zhurnal prikladnykh i fundamental'nykh issledovaniy*. International Journal of Applied and Fundamental Research. 2015, 5-2: 305—307. [In Russian].

Конфликт интересов: конфликт интересов отсутствует.

Статья поступила 10.01.2021
Принята к публикации 12.02.2021

Сведения об авторах

Колбанев Михаил Олегович, д-р техн. наук, профессор, профессор кафедры информационных систем и технологий, Санкт-Петербургский государственный экономический университет, mkolbanev@mail.ru.

Палкин Иван Иванович, канд. воен. наук, доцент, первый проректор, Российский государственный гидрометеорологический университет, ivanpalkin@mail.ru.

Пойманова Екатерина Дмитриевна, канд. техн. наук, доцент кафедры информационных технологий и систем безопасности, Российский государственный гидрометеорологический университет, e.d.poimanova@gmail.com.

Татарникова Татьяна Михайловна, д-р техн. наук, доцент, директор института информационных систем и геотехнологий, Российский государственный гидрометеорологический университет, tm-tatarn@yandex.ru.

Information about authors

Kolbanev Mikhail Olegovich, Grand PhD (Tech. Sci.), Professor, Professor of Department of Information Systems and Technologies, Saint-Petersburg State University of Economics.

Palkin Ivan Ivanovich, PhD (Military Sci.), docent, First Vice-Rector, Associate Professor, Russian State Hydrometeorological University.

Poimanova Ekaterina Dmitrievna, PhD (Tech. Sci.), Associate Professor of the Department of Information Technologies and Security Systems, Russian State Hydrometeorological University.

Tatarnikova Tatiana Mikhailovna, Grand PhD (Tech. Sci.), Associate Professor, Director of the Institute of Information Systems and Geotechnologies, Russian State Hydrometeorological University.