1 ПРИНЦИПЫ И МЕТОДЫ ОБЕСПЕЧЕНИЯ БЕЗОПАСНОСТИ ПРИ РАЗРАБОТКЕ И ПРИМЕНЕНИИ КРИТИЧЕСКИХ ИНФРАСТРУКТУР И ИНФОРМАЦИОННО-УПРАВЛЯЮЩИХ СИСТЕМ

## 1.1 Методологические основы зеленой ИТ-инженерии

### 1.1.1 Зеленые технологии и зеленый бизнес

Зеленые технологии (green technologies) **–** этоинновации (инновационные технологии), в основе которых лежат принципы устойчивого развития и повторного использования ресурсов. Их главной целью является снижение негативного воздействия на окружающую среду, например, за счет уменьшения количества отходов, повышения энергоэффективности, улучшения дизайна для сокращения объема потребляемых ресурсов [1,2]. Зеленые технологии охватывают три основные сферы, связанные:

− во-первых, с экологическим управлением (управлением отходами, снижением или исключением загрязнения водных, воздушны и земляных ресурсов и их восстановлением) и смягчением последствий изменения климата;

− во-вторых, производством энергии из возобновляемых источников (зеленой энергии, green energy), которые базируются на:

а) постоянно существующих или периодически возникающих процессов в природе – энергии солнца, ветра, рек и других водоемов (потенциальной и кинетической), энергии приливов и волн, геотермальной энергии;

б) переработке биомассы, включающей природные и специально выращенные растения, леса, отходы животноводства, птицеводства, растениеводства, пищевой промышленности; кроме того, особым видом биомассы являются твердые бытовые отходы, сточные воды городов и населенных пунктов, специально выращиваемые водоросли и т.д.;

− в-третьих, повышением эффективности использования всех видов топлива, электроэнергии на производстве, зданиях и осветительных приборах.

Применение зеленой энергии становится все более экономически выгодным, поскольку позволяет существенно снижать расходы. Например, по данным компании Bharti Infratel – одной из наиболее мощных телекоммуникационных компаний Индии, которая строит свой бизнес под лозунгом “Be a green company” (http://www.bharti-infratel.com/cps-portal/web/pdf/Bharti%20Infratel%20AR%202013-14%20Low%20Res.pdf), применение солнечной энергии в производстве позволяет в 4 раза снизить затраты на энергоресурсы и одновременно в 3,5 раза снизить выбросы СО2.

### 1.1.2 Зеленые технологии и концепция устойчивого развития

Зеленые технологии являются частью более общей концепции устойчивого развития или устойчивости (Sustainable Development, Sustainability) цивилизации [3]. Ее формулировка дана в докладе «Наше общее будущее», подготовленного Международной комиссией по окружающей среде и развитию Организации Объединенных Наций в 1987 году. На конференции ООН в Рио-де-Жанейро в 1992 году представители 179 стран утвердили концепцию устойчивого развития в 21 веке как статусный принцип выживания и существования земной цивилизации.

Концепция устойчивого развития рассматривается как предпосылка долговременного прогресса человечества, сопровождаемого приумножением понимаемого в широком смысле капитала и улучшением экологических условий. Эта концепция подразумевает также целенаправленное перемещение финансовых ресурсов из богатых регионов в бедные, широкий обмен экологическими знаниями и информацией.

### 1.1.3 Зеленые информационные технологии для устойчивого развития

Зеленые информационные технологии, как один из видов зеленых технологий, могут рассматриваться в нескольких ракурсах:

−ИТ, как инструмент для реализации концепции устойчивого развития (экологичности, безопасности, энергоэффективности);

− ИТ, как объект для обеспечения такой устойчивости.

Устойчивыми называют информационные технологии (Sustainable IT) и их компоненты (программные и аппаратные), чье прямое или косвенное негативное влияние на экономику, общество, человека и среду в результате их разработки и использования является минимальным и/или имеет позитивное влияние на устойчивое развитие. Данное определение объединяет несколько ракурсов. Ключевым здесь есть понятие устойчивости, которое охватывает все аспекты зеленых ИТ.

В контексте позитивного влияния зеленых ИТ на устойчивое развитие следует обсудить соотношение понятий «зеленый» (green) и «умный» (smart). Первое из них может относиться как к ИТ-системам, так и объектам, которыми они управляют, подчеркивая тем самым то, что все процессы (или практически все) в объекте (здание, кампус университета, городская инфраструктура) реализуются с минимальными затратами энергии или только с использованием возобновляемых источников. ИТ-системы в этом случае также конструируются по критерию энергоэффективности.

Второе (smart) – чаще применяется по отношению к управляемым объектам (smart building, smart grid, smart сity,…), потому что информационные технологии являются «разумными» («smart») по своей сути, хотя для них может применяться характеристика «интеллектуальный», связанная с понятием «искусственный интеллект».

В общем случае можно говорить, что для ИТ эти понятия пересекаются и имеют как общие, так и отдельные приложения. Поскольку энергосбережение в ИТ-системах и их применение для энергосбережения требует введение дополнительных функций, которые могут для реализации использовать методы и средства с более высоким «интеллектом», это позволяет говорить о том, что «озеленение» сопровождается со «смартизацией». В то же время применение смарт-технологий и решений может требовать больших программно-аппаратных затрат, а следовательно приводить к повышению энергопотребления.

### 1.1.4 Матрица задач зеленых информационных технологий в контексте устойчивого развития

ИТ могут рассматриваться в узком и широком смыслах в контексте устойчивого развития. В узком смысле – это энергосберегающие и энергоэффективные информационные технологии и системы, в широком – учитываются аспекты экологичности, безопасности и устойчивости развития в целом.

Основные сущности в области устойчивого развития и зеленых ИТ (IT Sustainability Set – ITSS) могут быть описаны декартовым произведением двух множеств:

− множества факторов устойчивого развития (Sustainability Development Set – SDS): энергетических или ресурсных (Energy – EnF), экологических (Ecology – EcF), безопастностных (Safety – SF) и социально-экономических (СF),

− двухэлементного множества (Means – средство, Object - объект Means-Object Set - MOS):

ITSS = SDS x MOS = (EnF, EcF, SF, СF) x (Means, Object).

Данному произведению соответствует матрица (таблица 1.1), каждая ячейка которой описывает одну из задач в области зеленых ИТ. Строка «Средство, Means» не разделена на компоненты, потому что, как правило, когда ИТ используется как средство, то используются комбинации компонентов.

Данная матрица позволяет проводить первичный анализ направлений развития зеленых ИТ, связанных с этим фактов.

Таблица 1.1 – Матрица задач зеленых ИТ в контексте концепции устойчивого развития

|  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| Множество  MOS | | Множества факторов устойчивого развития,  SDS | | | |
| EnF | EcF | SF | СF |
| Средство,  Means | | Means x EnF | Means x EcF | Means x  SF | Means x СF |
| Объект  (Object),  ИТ-компо-ненты) | HW | EnF x HW | EcF x HW | SF x HW | СF x HW |
| SW | EnF x SW | EcF x SW | SF x SW | СF x SW |
| NW | EnF x NW | EcF x NW | SF x NW | СF x NW |
| IS | EnF x IS | EcF x IS | SF x IS | СF x IS |
| IT | EnF x IT | EcF x IT | SF x IT | СF x IT |

### 1.1.5 Таксономия зеленой ИТ-инженерии и метрики энергоэффективности

В общем случае таксономия – это понятие, происходящее от древнегреческих терминов τάξις (строй, порядок) и νόμος (закон) и означающее, в широком смысле слова, учение о принципах и практике классификации и систематизации, а в узком, – классификацию, толкование и взаимосвязь понятий в некоторой предметной областью.

Далее ограничимся анализом таксономии зеленых ИТ в узком смысле: определим иерархию, уточним основные понятия и логические связи между ними.

Выше использовалось и обсуждалось большое число терминов и понятий с прилагательным «зеленый». Отличие термина от понятия, как известно, состоит в том, что он определяет слово или словосочетание (словесный код), являющееся названием некоторого понятия. Понятие в формальной логике – элементарная единица мыслительной деятельности, обладающая известной целостностью и устойчивостью и взятая в отвлечении от словесного выражения этой деятельности.

Исходя из такого формально-логического подхода, систематизируем основные понятия.

Зеленая энергия (green energy) – энергия, получаемая из возобновляемых источников без ущерба или с приемлемым, с точки зрения устойчивого развития, ущербом для окружающей среды, человека и технических объектов.

Зеленая технология (green technology) – это инновационная технология, понимаемая как совокупность методов, процессов и материалов, используемых в какой-либо отрасли деятельности для создания новых материальных или нематериальных продуктов, и базирующаяся на принципах устойчивого развития, получения и использования зеленой энергии.

Зеленая инженерия (green engineering) – это особый вид инженерии или, как часто говорят, инжиниринга, базирующийся на зеленых технологиях. Инженерия в широком смысле слова – это область человеческой деятельности по использованию достижений науки для решения конкретных проблем человечества. Для зеленой инженерии – это проблемы устойчивого развития.

В узком смысле инженерия – это использование материи, энергии и абстрактных объектов для создания конструкций, машин, оборудования и пр., предназначенных для выполнения конкретных функций. Понятие инжиниринга чаще используется в более узком смысле как один из видов услуг, связанных с подготовкой производственного процесса или с обеспечением его хода и реализации продукции.

С учетом этого, зеленый инжиниринг – это услуги по повышению энергоэффективности, безопасности и экологичности производственных процессов и производимой продукции.

Кроме того, могут быть определены, по аналогии понятия зеленых технических систем, таких как электростанции на основе источников возобновляемой энергии, комплексы переработки отходов и т.д.

Существует большое число определений, связанных с использованием зеленых технологий вообще и зеленых ИТ, в частности. Самое общее из них, относящееся к информационным технологиям, базируется на простом суждении: зеленые ИТ – это адаптация практик их разработки и применения таким образом, чтобы использовать информационные технологии более эффективно. Это предложение нельзя считать строгим определением. Оно формирует вектор их развития.

Зеленый компьютинг (green computing) – это особый вид компьютинга. Для того чтобы уточнить понятие зеленого компьютинга, необходимо уяснить сущность и эволюцию парадигмы компьютинга вообще. Эта эволюция характеризуется тем, что на разных этапах в его парадигме превалировали составляющие науки, искусства, инженерии и бизнеса.

До и накануне создания первых компьютеров, считалось, что компьютинг не имеет отношения к инженерии, а является наукой об искусственном интеллекте. В 60-е годы с ним связывали программирование как искусство построения информационных процессов. Далее компьютинг трактовался как средства автоматизации информационных процессов в науке, инженерии и бизнесе.

Можно сказать, что в настоящее время сложились понятия компьютинга в узком, широком и глобальном смысле.

*В узком смысле* компьютинг представляет собой вычисления (множество преобразований, которые выполняются путем применения конечного числа заранее определенных правил), выполняемое на компьютере или в компьютерной системе.

*В широком смысле* компьютинг – это совокупность научных знаний, инженерных методов и видов деятельности, направленных на разработку и применение компьютерных технологий, включая аппаратные и программные средства, в различных сферах с целью их информатизации и автоматизации. Компьютинг как отрасль науки объединяет компьютерные науки, компьютерную и программные инженерию, информационные системы и технологии. Детальный анализ разных сторон компьютинга (математических, научных, инженерных) дан в.

*В глобальном значении* компьютинг или ноокомпьютинг – это часть ноосферы, теорию которой разработал великий В.И. Вернадский. Компьютерные технологии, став всеобъемлющими и всепроникающими, сейчас являются важнейшим инструментом и частью мировой инфраструктуры. В процессах глобализации ноокомпьютинг, становление которого может завершиться в течение данного десятилетия [3], призван играть ключевую роль.

Исходя из рассмотренного, может быть определено понятие зеленого компьютинга в разных смыслах с учетом аспекта green. В узком смысле оно может быть определено как энергоэффективные (энергосберегающие) вычисления или вычисления, проводимые компьютером или системой, управляющими зелеными техническими системами. В широком смысле – это совокупность научных знаний, инженерных методов и видов деятельности, связанных с повышением энергоэффективности, экологичности и безопасности компьютерных технологий. Зеленый компьютинг естественным образом вписывается в понятие ноокомпьютинга, учитывая три указанные выше составляющие.

Понятие зеленых коммуникаций аналогичным образом проецируется на компьютерные сети и телекоммуникации и может рассматриваться как составляющая зеленого компьютинга.

Зеленая информационная технология (green IT) – это совокупность процессов, методов и средств поиска, сбора, хранения, обработки, предоставления, распространения [информации](http://ru.wikipedia.org/wiki/%D0%98%D0%BD%D1%84%D0%BE%D1%80%D0%BC%D0%B0%D1%86%D0%B8%D1%8F) и способов их реализации, направленных на повышение энергоэффективности, безопасности и экологичности самих технологий и систем, в которых они применяются, а также на распространение соответствующих ценностей в обществе.

Зеленая ИТ-инженерия (green IT-engineering) – вид инженерии, основанной на совершенствовании и применении зеленых информационных технологий в различных видах человеческой деятельности. Следовательно, можно различать и соответствующим образом трактовать зеленую компьютерную инженерию (green computer engineering) и зеленую программную инженерию (green software engineering).

Исходя из рассмотренных понятий, могут быть определены компоненты:

− зеленое аппаратное или техническое обеспечение, аппаратные или технические средства (green hardware);

− зеленое программное обеспечение и зеленые программные средства (green software). Заметим, что в английском языке программное обеспечение (объединяющее программные средства – совокупность программ на носителе и программную документацию) и программные средства не различаются и обозначаются одним термином software.

Зеленые аппаратные средства – это средства, в которых минимизируются энергопотребление и риски опасных отказов при использовании систем, важных для безопасности. Соответственно можно говорить о зеленых чипах, микропроцессорах, модулях и т.д.

Зеленые программные средства – такие программные средства, которые минимизируют информационные и энергетические ресурсы системы, а также базируются на коде, оптимизируемом по энергетическим метрикам.

ИТ-системы (инфраструктуры), реализующие зеленые информационные технологии, т.е. построенные с использованием зеленых аппаратных и/или программных средств, могут быть названы зелеными ИТ-системами (инфраструктурами). Уже сейчас широко используются понятия и совершенствуются системы и инфраструктуры, базирующиеся на зеленых облачных технологиях (green cloud), зеленых грид-технологиях (green grid), зеленых веб-сервисах (green web), зеленом центрах хранения и обработки данных или датацентрах (green data center), зеленом человеко-машинном интерфейсе (green HMI – human-machine interface) и т.д.

Например, зеленый датацентр – это репозиторий для хранения, управления и распространения данных, в которых механические, электрические и компьютерные системы проектируются для обеспечения максимальной энергоэффективности и минимального влияния на окружающую среду. Отметим, что использование термина «датацентр» (или «дата-центр», как пишется в некоторых источниках) далее оправдано по причине того, что он более компактен, чем термин «центр хранения и обработки данных» и уже вошел в обиход специалистов.

Другой пример – это зеленые облачные вычисления или зеленые облачные системы (инфраструктуры). Зеленые облачные вычисления могут определяться как технологии (инжиниринг), которые могут обеспечить потенциальные преимущества для окружающей среды и экономию энергоресурсов при предоставлении сервисов посредством Интернет или иных технологий распределенных вычислений.

Очень важными являются термины и понятия, относящиеся к характеристикам зеленых технологий и систем и показателям (метрикам) этих характеристик.

Среди характеристик основными являются энергопотребление и энергоэффективность; первая из них определяется потребляемой энергией, вторая – тем насколько эффективно энергия используется. Речь идет, прежде всего, об электроэнергии, измеряемой мощностью Pe.

Таким образом, энергоэффективность Еe является комплексным показателем, который может вычисляться как отношение достигаемой производительности, точности и др. характеристик или их прироста ΔП при использовании технологии или ИТ-системы на единицу потребляемой мощности Pe или ее изменения ΔPe: Еe = П / Pe или Еe = ΔП / ΔPe.

Используя этот показатель, можно сравнивать разные варианты решений при разработке, модернизации и применении ИТ-систем, создания и внедрении новых технологий.

Энергосбережение имеет более широкий смысл и указывает не только количественное значение экономии энергии при использовании зеленых ИТ, а и на совокупность мер, направленных на снижение ее потребления.

Вышеприведенное выражение связано с общим энергопотреблением ИТ-системы и эффективным использованием энергии. Для того чтобы оценить долю энергии Pe, потребляемой такой оборудованием такой системы, по отношению к общей энергии Ps технического комплекса, предприятия, или любого объекта, в который встраиваются программно-аппаратные средства, используется простой показатель MEI (*power IT-system metric*):

PIM = Pe / Ps.

Когда речь идет о системах, предназначенных для обработки данных, таких датацентры (центры обработки данных вычислительных кластеров, облачных инфраструктур) используется *показатель PUE* (*power usage effectiveness*):

PUE = Ps / Pe.

Показатель PUE является одной из важных показателей энергоэффективности дата центров и обратным по величине к РІМ, поскольку фактически определяет долю накладных энергетических расходов при выполнении обработки информации ИТ-системами. Идеальным датацентром является такой, когда PUE равен единице. Для существующих датацентров среднее значение PUE равно 2.5. Для бизнеса с большой зависимостью от таких центров ставится задача сокращения этого показателя до двух и ниже [3].

Наряду с ним используются также следующие метрики.

*Коэффициент зеленой энергии* GEC (*green energy co-efficient*) – определяет ту часть энергии Per, которая получена из возобновляемых источников:

GEC = Peg / Pe.

В апреле 2014 года во влиятельной газете The Guardian со ссылкой на отчет Greenpeace дан критический анализ крупнейших ИТ-корпораций и высказана обеспокоенность в связи с нарастающим влиянием на окружающую среду и слабое использование зеленой энергии. Компании Apple, Box, Facebook, Google, Rackspace, Salesforce были позитивно оценены за стопроцентное использование возобновляемых источников энергии для своих датацентров. При этом критиковалась компания Amazon Web Services за использование только 15% возобновляемой энергии его датацентрами [3].

*Коэффициент повторного использования энергии* ERF (*energy reuse factor*), определяющий долю энергии (тепловой, в первую очередь), выделяющейся при проведении вычислений и работе датацентров в целом, полезно используемой в дальнейшем Per (например, для обогрева помещений, теплиц и т.д.):

EPF = Per / Pe.

Благодаря повторному использованию уменьшается ее общее потребление.

*Коэффициент эмиссии углекислого газа или диоксида углерода* CUE (*carbon usage effectiveness*) учитывает влияние датацентров и подобных систем на окружающую среду, измеряемое эмиссией СО2, и определяется отношением объема эмиссии СЕ, вызванной общим энергопотреблением Ps датацентра,к объему энергии, потребляемой для обработки информации Pe [3]:

CUE = СE / Pe.

Для ИТ-системы, ее компонент и процессов, связанных с разработкой и применением, могут быть рассчитаны частные показатели, которые иногда называют зелеными метриками (green metrics).