

УДК 005.5

ДОЛГОВРЕМЕННЫЕ СТРАТОСФЕРНЫЕ ПЛАТФОРМЫ СВЯЗИ И НАБЛЮДЕНИЯ. НОВЫЙ ЭТАП РАЗВИТИЯ.

Герасимов А.В., E-mail: gerasimov@mirea.ru.

Герасимов В.Б., д.т.н., профессор, E-mail: gerasimov@mirea.ru

Кудж С.А., д.т.н., rector@mirea.ru

Соловьёв И.В., д.т.н., профессор, E-mail: i.v.soloviev54@mail.ru

МГТУ МИРЭА, Москва, Россия

Аннотация: Определена роль долговременных стратосферных платформ связи и наблюдения в реализации концепции ситуационной осведомленности. Описан ход наиболее передовых работ по созданию таких платформ за последние 20 лет. Проанализированы их результаты. Выявлены новые факторы, существенно расширяющие сферу применения таких платформ и повышающие их востребованность. Приведен анализ хода работ по доведению ключевых технологий, необходимых для успешного создания стратосферных платформ, до стадии производственной готовности. Определена роль и место таких платформ в решении задачи повышения устойчивости управления основными процессами жизнедеятельности государства.
Ключевые слова: стратосферные дирижабли, связь, телекоммуникации, управление, наблюдение, ситуационная осведомленность, облачные вычисления, «большие данные», программно-определяемая инфраструктура, 5G, альтернативная и зеленая энергетика, энергетическая нейтральность.

HIGH ALTITUDE LONG-ENDURANCE COMMUNICATION AND SURVEILLANCE PLATFORMS. NEW STAGE OF DEVELOPMENT.

Gerasimov A.V., E-mail: gerasimov@mirea.ru.

Gerasimov V.B., D.of.Sci., professor, E-mail: gerasimov@mirea.ru

Kudj S.A. D.of.Sci., rector@mirea.ru

Soloviev Igor V., D.of.Sci., professor, E-mail: i.v.soloviev54@mail.ru

MSTU MIREA, Moscow, Russia

Abstract. The role of high-altitude long-endurance communication and surveillance airborne platforms as a key element for real-time situation awareness concept implementation is defined. Achievements in development of the most advanced programs are described. The results are analyzed. The news drivers are brought out. The possibilities to shift key technologies readiness to the proper level are described. The role of high altitude long-endurance platforms as a necessary element needed to improve control sustainability on defense and civil processes in Russian Federation is defined.

Keywords. High altitude long endurance airships and other airborne platforms, communication, surveillance, control, situation awareness, cloud computing, Big Data, software defined (led) infrastructure, 5G, green and alternative energy, energy neutrality.

1. Введение.

Практическая реализация концепций ситуационной осведомленности и тесно связанной с ней сетецентрической концепции управления [1] требует создания принципиально новых платформ наблюдения, позволяющих на порядок и более снизить себестоимость получения информации и обеспечить ее непрерывное поступление в режиме реального времени. Традиционными средствами разведки эту задачу решить невозможно.

В связи с этим еще в середине 90-х годов прошлого века появились проекты создания разведывательных и связных систем на стратосферных платформах с чрезвычайно большой продолжительностью полета (более года) в полностью автоматическом режиме, обеспечивающих требуемые для полноценной реализации концепции ситуационной осведомленности характеристики. Так, по показателю полезная «нагрузка * продолжительность полета» оснащенный радаром перспективный стратосферный дирижабль ISIS (см. п. 2.3.) может на два порядка величины превзойти систему AWACS, обеспечив при этом непрерывное получение информации в режиме реального времени в течение более года. Ни одна из существующих разведывательных платформ (пилотируемый или беспилотный самолет, спутник) в принципе не позволяет достичь сравнимых показателей.

2. Основные программы создания стратосферных дирижаблей военного и двойного назначения [2, 3, 4].

За последние 20 лет наиболее значимые программы создания стратосферных дирижаблей военного и двойного назначения были выполнены в США.

2.1. Программа «ХайСентинел» (HiSentinel)

Первым шагом к созданию стратосферных дирижаблей военного и двойного назначения стал проект HiSentinel (высотный стражник), его основные характеристики представлены в таблице 1.

Таблица 1. Основные характеристики программы HiSentinel.

Характеристика	Значение		
	HiSentinel 20	HiSentinel 50	HiSentinel 80
Год совершения полета	2005	2008	2010
Габариты	Длина	44,5 м (146 футов)	Н.д.
	Диаметр	Н.д.	Н.д.
Объем	Н.д.	Н.д.	6 тыс. куб. м (212,8 тыс. куб. футов)
Вес	Н.д.	Н.д.	363 кг (800 фунтов)
Тип	Традиционный.	Традиционный.	Традиционный.

		Подъемная сила создается наполненной гелием оболочкой.	Подъемная сила создается наполненной гелием оболочкой.	Подъемная сила создается наполненной гелием оболочкой.
Материал и конструкция оболочки		Мягкая (non-rigid). Конечную форму оболочка принимает только после подъема на высоту.	Мягкая (non-rigid). Конечную форму оболочка принимает только после подъема на высоту.	Мягкая (non-rigid). Конечную форму оболочка принимает только после подъема на высоту.
Двигательная установка		1 электродвигатель	1 электродвигатель	1 электродвигатель.
Энергоустановка		Аккумуляторы	Н.д.	Солнечные батареи внутри под прозрачной частью оболочки + аккумуляторы.
Размещение полезной нагрузки		Снаружи, в гондоле снизу.	Снаружи, в гондоле снизу.	Снаружи, в гондоле снизу.
Режимы управления		Автономный	Автономный.	Автономный.
Полезная нагрузка	Масса	До 9 кг (20 фунтов). По другим данным 27 кг (60 фунтов).	До 23 кг (50 фунтов).	До 36 кг (80 фунтов).
	Энергопотребление	Н.д.	Н.д.	50 Вт
	Состав	Средства телеметрии, видеокамера.	Средства телеметрии, видеокамера.	Аналогично HALE-D
Продолжительность полета		5 часов (достигнута в испытат. полете).	24 часа (3 мин – в испытат. полете)	24 часа (8 часов – в испытат. полете)
Высота полета		Потолок – 22555 км (74 тыс. футов, достигнут в испытат. полете)	Потолок – 20239 км (66,4 тыс. футов – не достигнут)	Потолок – 18300 км (60 тыс. футов – достигнут в испытат. полете)
Скорость крейсерская		Н.д.	Н.д.	28-48 км/ч (15-26 узлов)
Режим наблюдения		Геостационарный (нулевая скорость относительно земли)	Геостационарный (нулевая скорость относительно земли)	Геостационарный (нулевая скорость относительно земли)

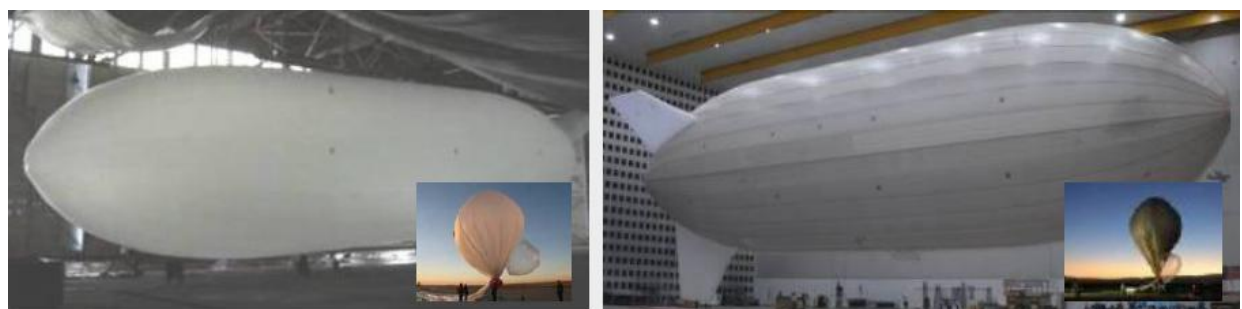


Рисунок 1. Стратосферные дирижабли HiSentinel

В ходе своего первого полета в 2005 году (см. фото ниже) «HiSentinel 20» достиг высоты более 74000 футов (22 555 км), причем из 5 часов полета только 1,5 часа были в управляемом режиме (с работающими двигателями).



Рисунок 2. Стратосферный дирижабль HiSentinel в полете.

Данный полет был очень важен для всех программ создания разведывательных стратосферных дирижаблей, поскольку продемонстрировал принципиальную возможность достижения дирижаблем столь большой высоты и нахождения там в управляемом полете. Стоит отметить, что на момент запуска в 2005 году «HiSentinel 20» был лишь вторым дирижаблем за всю историю их создания, осуществившим управляемый (с использованием двигателя) полет в стратосфере.

Задачей следующих полетов было продемонстрировать возможность осуществления многодневного полета в стратосфере под управлением автопилота и с использованием электродвигателей, питаемых от солнечных батарей. Это привело к росту размеров и массы аппарата, и, как следствие, к снижению потолка. Так, «HiSentinel 80» поднялся лишь на 60,000 футов в 2010 году, а полет длился 8 часов вместо запланированных 24-х.

Испытательный полет HiSentinel 80 состоялся в ноябре 2010 года, его целью было достичь заданных показателей по высоте, скорости и продолжительности полета, а также продемонстрировать возможность удержания позиции над определенной точкой земной поверхности. В ходе полета аппарата имел место сбой в работе двигательной установки и полет завершился всего восемь часов спустя вместо необходимых 24 часов.

Отдельно стоит отметить, что автоматический режим управления полетом не был реализован не только на стратосферных, но и на низковысотных дирижаблях. Так, оказалось неработоспособным программное обеспечение системы управления полетом дирижабля Blue Devil.

2.2. Программа «Высотный Большой Продолжительности Полета – Демонстратор» (High Altitude Long-Endurance – Demonstrator, HALE-D)

Головной исполнитель – Локхид Мартин, пошив оболочки - ILC Dover, заказчик - Командование космической и противоракетной обороной вооруженных сил США (Army Space and Missile Defense Command's, SMDC), группа, ведущая программу «Высотный дирижабль» (High-Altitude Airship, HAA, Таблица и рисунок 2).

Таблица 2. Основные характеристики программы HALE-D.

Характеристика	Значение	Комментарии
Габариты	Длина – 71 м (232 фута) Диаметр оболочки – 23 м (74,5 фута)	
Объем	16,4 тыс. куб. м (580 тыс. куб. футов)	
Вес	1724 кг (3800 фунтов)	
Тип	Традиционный. Подъемная сила создается наполненной гелием оболочкой и тягой двух двигателей с управляемым вектором тяги.	
Материал и конструкция оболочки	Нежесткая (non-rigid).	
Двигательная установка	Два электродвигателя, расположенных по обеим сторонам дирижабля мощностью 2 кВт каждый.	
Энергоустановка	Вырабатываемая солнечными батареями мощность – 15 кВт, емкость полимерных литий-ионными аккумуляторов – 40 кВт/ч, электрогенерирующие элементы на основе технологии «топливных ячеек», предусмотренные для ISIS, отсутствовали. Возможно, в испытательном полете вместо обычных литий-ионных батарей на борту HALE-D были новейшие керамические элементы питания.	
Полезная нагрузка	До 36 кг (80 фунтов). Энергопотребление – 150 Вт.	В испытат. полете менее 23 кг.
Внешние отсеки для полезной нагрузки и топлива	Два отсека, расположенных под оболочкой. Используются для размещения в них полезной нагрузки, и, видимо, аккумуляторов.	
Режимы управления	Дистанционно управляемый.	
Продолжительность полета	2-3 недели (до 21 суток).	В испытат. полете менее 3 часов.
Высота полета	Потолок – 18300 м (60000 футов).	В испытат. полете менее 10 тыс. м.
Скорость	Максимальная – 33 км/ч (18 узлов), крейсерская – 48 км/ч (26 узлов).	

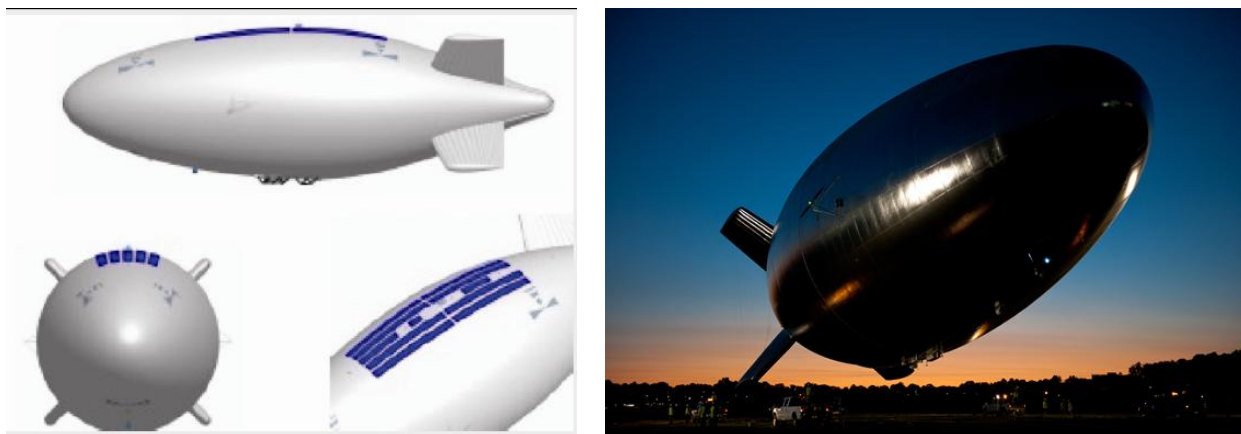


Рисунок 2. Внешний вид стратосферного дирижабля HALE-D

Первые шаги по разработке НАА были инициированы в 2003 году Агентством противоракетной обороны (Missile Defense Agency, MDA). Изначально усилия были направлены на создание как полноразмерного дирижабля, способного более года находиться на высоте в 20 тыс. м, так и прототипа с продолжительностью полета около месяца на чуть меньшей высоте – около 18,5 тыс. м. В 2005 году программа подверглась реструктуризации, в планах остался только прототип. Сама программа была передана в ведение SMDC, и финансировалась этим подразделением с 2008 по 2011 фин. годы. В 2011 году заказчиком было принято решение финансирование программы закрыть.

Создание прототипа (демонстратора) с продолжительностью полета не менее 2 недель на высоте 18,5 тыс. м. было закончено в 2011 году. Его задачей было продемонстрировать в полете на большой высоте работоспособность ряда ключевых для программы технологических решений, таких как тонкопленочные массивы солнечных батарей, регенерируемая система электропитания, двигательная установка, канал передачи данных для дистанционного управления аппаратом. Вес полезной нагрузки был выбран минимальным – не более 23 кг. Полезная нагрузка включала в себя следующие компоненты:

- Электро-оптическая система производства компании АйТиТи (ITT) с высоким разрешением для обеспечения в режиме близком к режиму реального времени наведения и захвата картинки.
- Многоканальная и многодиапазонная радиостанция производства фирмы Тейлс (Thales).
- Аппаратура для передачи данных Mini-Common Data Link (MCDL) производства фирмы Левел 3 Коммуникейшнс (L3 Communications).

Первый и единственный полет прототипа (HALE-D) был выполнен ранним утром 27 июля 2011 года, старт состоялся в 5-47 утра, экстренная посадка – спустя всего 3 часа, в 8-26 утра. В ходе полета возникли технические проблемы при наборе высоты, подъем выше 10 тыс. м. оказался невозможен. Как только это стало понятно, было принято решение увести аппарат в малонаселенную местность и приземлить его там. По словам представителей Локхид Мартин за 3 часа полета удалось продемонстрировать работоспособность ключевых систем дирижабля, включая взлет и дистанционное управление аппаратом, работу линий связи, двигательной установки, выработку электроэнергии солнечными батареями.

2.3. Программа ISIS (Integrated Sensor Is the Structure, интегрированный сенсор как структура) / HAA (High-Altitude Airship, высотный дирижабль)

Концепция ISIS – это полностью интегрированный в конструкцию стратосферного дирижабля радар с ультралегкой (1 кв. м. должен весить не более 2 кг) активной фазированной решеткой площадью 6000 кв. м. (у прототипа – 600 кв. м.), имеющий большую способность по обнаружению и сопровождению нескольких сотен воздушных и наземных движущихся целей (Таблица и рисунок 3).

Предполагается, что за счет стратосферной высоты полета система обеспечит большую по сравнению с наземными радаром дальность обнаружения целей, обладая сверхвысокой продолжительностью полета и минимальными требованиями к обслуживающей наземной инфраструктуре. Общее покрытие системы ISIS должно превышать 5,5 млн. кв. морских миль, в сравнении с 153 тыс. кв. морских миль у системы AWACS.

Старт программы ISIS датируется 2004 годом, с 2009 года она находится в стадии 3, которая предусматривает как создание и испытания в 2014 году рабочей демонстрационной модели ISIS с размером оболочки $\frac{1}{2}$ от полноразмерного оригинала и с размером радара $\frac{1}{10}$ от оригинала, так и создание полноразмерного аппарата с его испытаниями в 2018 году.

Ввиду очень высокой степени технологической новизны программы (уровень технологической «готовности» – 4, в сравнении с 6-м уровнем у HALE-D и Sentinel и 8-9 уровнем у находящихся в эксплуатации привязных аэростатных систем) предыдущие две стадии были стадиями системного проектирования и предварительного изучения технологий, необходимых для ее успешной реализации, с созданием работающих макетов ключевых подсистем.

Таблица 3. Основные характеристики программы HALE-D.

Характеристика		Значение	
		Демонстратор	Полноразмерный
Габариты	Длина	156 м (511 футов)	305 м (1000 футов)
	Диаметр	49 м (161 фута)	100 м (328 футов)
Объем		164 тыс. куб. м (5,8 млн. куб. футов)	1,7 млн. куб. м (60 млн. куб. футов)
Вес		15,9 тонн (35 тыс. фунтов)	153 тонны (337 тыс. фунтов)
Тип		Традиционный. Подъемная сила создается наполненной гелием оболочкой.	Традиционный. Подъемная сила создается наполненной гелием оболочкой.
Материал и конструкция оболочки дирижабля		Полужесткая (semi-rigid).	Полужесткая (semi-rigid).
Двигательная установка		Два электродвигателя суммарной мощностью 165 кВт.	Н.д.
Энергоустановка		Солнечные батареи на верхней поверхности оболочки + «топливные ячейки» и аккумуляторы.	Солнечные батареи на верхней поверхности оболочки + «топливные ячейки» и аккумуляторы.
Размещение полезной нагрузки и топлива		Внутри оболочки, интегрирована в его силовую схему.	Внутри оболочки, интегрирована в его силовую схему.
Режимы управления		Автоматический.	Автоматический.
Полезная нагрузка	Масса	До 1315 кг (2900 фунтов).	До 17600 кг (38800 фунтов)
	Энергопотребление	10-16 кВт.	
	Состав	Радар со сверхбольшой апертурой, активная фазированная решетка	Радар со сверхбольшой апертурой, активная фазированная решетка
Продолжительность полета		До 1 года.	До 10 лет.
Высота полета		Потолок – 19800 км (65 тыс. футов)	Потолок – 21336 (70 тыс. футов)
Скорость крейсерская		До 91 км/ч (49 узлов)	До 215 км/ч (116 узлов)
Режим наблюдения		Геостационарный (нулевая скорость относительно земли)	Геостационарный (нулевая скорость относительно земли)



Рисунок 3. Внешний вид стратосферного дирижабля ISIS

Так, были заданы научно-исследовательские и опытно-конструкторские работы по следующим темам:

- материал оболочки дирижабля низкой плотности;
- легкая, с низкой потребляемой мощностью фазированная решетка с активным электронным сканированием;
- модули приема-передачи для активной фазированной решетки с экстремально низким энергопотреблением;
- инновационная энергосистема для обеспечения работы стратосферного дирижабля.

Отмечалось, что использование существующих технологий во всех из перечисленных областей не позволит уложиться в ограничения по весу.

Так, для достижения уровня доступности (работоспособности) системы не менее чем 99% времени в течение не менее года, предварительные исследования были сфокусированы в первую очередь на системе энергообеспечения на основе солнечных батарей дополненной топливными (химическими) источниками энергии и аккумуляторами для обеспечения пиков потребления. Система энергообеспечения рассчитывалась на пики потребления – удержание позиции при продолжительном сильном ветре. Для 99% диапазона силы ветра в стратосфере генерируемая мощность задавалась на уровне 1 МВт в течение 3-5 дней. Энергопотребление радара, авионики и коммуникационных систем задавалось постоянным на уровне 50 кВт.

В техническом задании особо подчеркивалось, что улучшение массо-энергетических характеристик какого-либо элемента системы в отдельности (солнечные панели, топливные ячейки, топливные баки, аккумуляторы) не дает желаемого результата для системы в целом, но при этом существенно влияет на соотношение прочность/вес материала оболочки дирижабля.

В техническом задании указывалось также, что для выполнения базовых требований концепции ISIS необходимо обеспечить энергоэффективность системы энергоснабжения на единицу ее массы на уровне 400 Втчас/кг на протяжении всего жизненного цикла системы (не менее года) в условиях работы в стратосфере (потолок - 70 тыс. футов) при наружных температурах от минус 80 до минус 40 градусов Цельсия и внутренних от нуля до минус 35 градусов Цельсия, в диапазоне широт от 60 градусов северной широты до 45 градусов южной широты. Также требовалось показать технологические пути для двукратного улучшения этого показателя до уровня 800 Втчас/кг.

Отмечалось, что по состоянию на 2008 год ни один из видов солнечных панелей не был опробован в реальной работе на дирижабле в стратосфере, хотя к этому моменту уже состоялся успешный полет стратосферного дирижабля «Sentinel 20», который по официальным данным был оснащен солнечными батареями.

Несмотря на то что на стадии создания лабораторных моделей подсистем и выбора технологий полностью выполнить требования технического задания не удалось, в настоящее время программа ISIS находится в стадии 3, то есть в стадии создания действующего дирижабля.

Хотя программа предусматривает создание и испытания двух дирижаблей (прототипа уменьшенной размерности и полноразмерного дирижабля), по состоянию на середину 2012 года проведено лишь критическое рассмотрение конструкции (critical design review) демонстрационной модели, операционное моделирование и имитирующий эксперимент по радарной системе, а также разработка и демонстрация в лабораторных условиях системы управления полетом. Кроме того, в рамках выполнения программы были продемонстрированы производственные прототипы большой размерности, закончена первоначальная интеграция и выполнен критический обзор конструкции системы энергообеспечения радара.

Конечная сборка первого дирижабля велась в г. Акрон, штат Огайо. Там же в Феврале 2014 года планировалось произвести первый демонстрационный запуск продолжительностью 90 дней, после чего передать руководство программой от DARPA в ВВС (Air Force).

Второй, уже полноразмерный дирижабль по программе ISIS, с полноразмерным радаром и более мощной возобновляемой системой электропитания с топливными ячейками, планировался к запуску в 2018 г. с продолжительностью полета 10 лет. Его использование планировалось в интересах ВВС и Северного командования (Northern Command).

Наряду с указанными выше изначально предполагавшимися техническими сложностями по программе ISIS, исполнитель столкнулся с проблемами при разработке различных подсистем, а также при производстве панели для антенны радара.

В связи с этим, в первой половине 2012 года в DARPA было принято решение временно приостановить работы по разработке аппарата в целом, и сосредоточится на мерах по снижению рисков по радарной системе. В соответствии с этим решением должен был быть разработан общий план снижения рисков в части создания корпуса дирижабля, и проведены ограниченные работы по нему. Основываясь на изучении планов по снижению рисков как по радару, так и по корпусу дирижабля, DARPA

рования, млн. долл. США	Итого								36,3
	HiSentinel								
Объем финанси - рования, млн. долл. США	Разработка и пр-во	1,3	4,1	0,7	2,2	2,8			11,2
	Эксплуатация								
	Итого								11,2

4. Анализ возможностей дальнейшего развития программ создания стратосферных платформ связи и наблюдения.

Практически одновременно с тем как в начале текущего десятилетия стало понятно, что готовность ключевых для создания стратосферных платформ технологий не удастся довести до необходимого уровня в рамках исключительно военных программ, и встал вопрос закрытия этих программ, практически идентичный перечень технологий получил мощный стимул для развития, в том числе финансовый, со стороны гражданской сферы.

Первая группа таких технологий – это технологии дистанционного автоматического управления самыми разнообразными объектами (раздел 4.1.) и технологии связи, позволяющие обеспечить высокий уровень доступности этих объектов для систем управления (раздел 4.2.).

Вторая группа технологий (раздел 4.3.) – это технологии энергосбережения в сочетании с технологиями альтернативной и возобновляемой энергетики, позволяющие добиться ключевой для решения задачи создания долговременной стратосферной платформы характеристики - энергетической нейтральности объекта [5].

Наибольшую активность в развитии этих технологий проявляют компании – лидеры так называемой «облачной» экономики, уже сейчас по своим финансовым возможностям превосходящие крупнейшие компании традиционной экономики [6]. Так, корпорации Google и Apple суммарно располагают более 250 млрд. долларов свободных средств, которые активно инвестируют в перспективные разработки.

В перечень развиваемых облачными провайдерами направлений входят не только все критически важные для успешного создания стратосферных платформ технологии по отдельности, но и сам готовый продукт в виде стратосферных платформ малой грузоподъемности, планируемых к запуску в количестве десятков тысяч единиц (см. п. 4.2.).

В свою очередь, головные исполнители по военным программам создания стратосферных платформ – корпорации Lockheed Martin и Northrop Grumman, а также их основные подрядчики, выразили высокую заинтересованность в участии в программах создания стратосферных платформ двойного назначения, которые могут быть использованы как в военных, так и в коммерческих и научных целях [7]. Также свою заинтересованность в участии заявили ведущие университеты США и американское космическое агентство NASA. Разработку таких программ предполагается вести с учетом рекомендаций государственной счетной палаты США, выработанных в 2012 году по итогам аудита всех финансируемых за счет оборонного бюджета США программ создания воздушных платформ легче воздуха [2]. К финансированию программ предлагается привлечь частные фонды и коммерческие компании.

4.1. Системы автоматического дистанционного управления.

Режим автоматического дистанционного управления – это единственно возможный режим для постоянно действующей стратосферной платформы. Реализация именно такого режима была одной из основных проблем, оказавшейся неразрешимой в рамках программ создания стратосферных дирижаблей военного назначения. Ввиду динамично меняющихся параметров аппарата (геометрических и аэродинамических характеристик мягкой оболочки, в частности) алгоритмы автопилотов традиционных воздушных средств (самолеты, вертолеты) оказались неприменимы к аппаратам легче воздуха, и автоматический режим полета не удалось реализовать даже на низковысотных дирижаблях. Поэтому все предпринятые на сегодняшний день полеты стратосферных дирижаблей осуществлялись в режиме ручного дистанционного управления, что неприемлемо для платформы, рассчитанной на полет продолжительностью в год и более.

Для управления воздушной платформой с динамически изменяющимися геометрическими и аэродинамическими характеристиками необходимо осуществлять анализ и оптимизацию работы всех систем дирижабля в режиме реального времени, многократно пересчитывая математическую модель аппарата. Учитывая очень жесткие ограничения по массе и энергопотреблению полезной нагрузки реализация столь сложной системы автоматического управления непосредственно на борту может оказаться не только неоптимальной, но и невозможной – для этого могут потребоваться слишком большие вычислительные мощности. Кроме того, реализация автоматического управления непосредственно на борту не оптимальна еще и потому,

что управление стратосферной платформой будет осуществляться с учетом оптимизации работы всей системы наблюдения и управления в целом. В этой ситуации оптимальным решением является дистанционное автоматическое управление стратосферной платформой со стороны исполняемых в сети мощных наземных датацентров облачных сервисов.

Кроме того, такой подход является единственно возможным и для обработки получаемых со стороны полезной нагрузки стратосферной платформы данных ввиду беспрецедентно большого объема этих данных. Площадь контролируемой со стратосферной платформы поверхности на порядок и более превышает аналогичный показатель для самолета AWACS, а контроль осуществляется в режиме реального времени на протяжении многих месяцев [3]. В этой связи возникает проблема: передавать весь этот объем данных на землю без обработки на месте невозможно, особенно в случае видеоизображения высокого разрешения – не хватит емкости даже перспективных беспроводных каналов связи, а обрабатывать данные полностью на платформе также невозможно из-за отсутствия на ней потребных вычислительных мощностей. На помощь приходит перспективный подход, уже применяющийся в интеллектуальных системах наблюдения гражданского назначения – частичная обработка сигнала непосредственно в устройстве наблюдения с выделением необходимых для анализа данных [8], и передача именно этих данных для последующей обработки в датацентр, где они анализируются с применением технологий обработки «больших данных» (Big Data) [9].

В целом, бурное развитие технологий автоматического дистанционного управления в гражданской сфере в последние годы непосредственно связано с реализацией концепций так называемых «умных» (программно-управляемых) устройств и создания «интернета вещей» [10].

В общем случае переход от традиционной к программно-конфигурируемой инфраструктуре дает возможность выполнить функционал объекта инфраструктуры не на аппаратном, а преимущественно на программном уровне, реализовав его как внешний облачный сервис со свободным сетевым доступом к управляемым объектам. В частности, именно так реализован алгоритмически сложный функционал мобильных устройств (смартфоны, планшеты). Например, так работает сервис Siri, распознающий голосовые команды мобильному устройству от его пользователя [11].

Такой подход позволяет осуществить сколь угодно детализированную и алгоритмически сложную оптимизацию работы объектов не только как отдельных систем, но и реализовать комплексное управление ими с учетом всего разнообразия

взаимосвязей управляемых элементов. Еще одной отличительной особенностью программно-конфигурируемых объектов инфраструктуры является возможность организации их взаимодействия не с одним программным сервисом, а с неограниченной номенклатурой этих сервисов, что дает возможность реализовывать самую разнообразную функциональность на основе весьма ограниченной номенклатуры инфраструктурных элементов.

Характерным примером реализации такой концепции является переход на автоматическое управление дорожным движением. Не отдельными его элементами, светофорами, например, как сейчас, а всей совокупностью инфраструктурных элементов как единой системой дорожного движения. То есть речь идет как об управлении дорожной инфраструктурой, так и о реализации автоматического режима управления самими транспортными средствами с целью повышения общей пропускной способности дорожной сети, радикального (на 80-90%) снижения аварийности и вредного воздействия на окружающую среду. Стоит отметить, что именно широкое применение автоматического режима пилотирования в авиации и близкого к автоматическому режима управления воздушным движением позволило на порядок снизить аварийность в гражданской авиации [12].

В 2014 году сделан решающий шаг в направлении практической реализации такого подхода и в управлении дорожным движением. В Евросоюзе разработаны и приняты, а в США подготовлены к принятию стандарты обмена данными между автомобилями и между автомобилями и объектами дорожной инфраструктуры [13]. Ведущие мировые автопроизводители заявили о готовности уже в 2015 году приступить к выпуску автомобилей, соответствующих требованиям этих стандартов. Работы по созданию «умных» моделей автомобилей ведутся автопроизводителями в тесном взаимодействии с лидерами «облачной» индустрии, в частности, с корпорациями Apple (проект CarPlay) и Google (Open Automotive Alliance). Также стоит отметить, что не только взаимодействие «умного» автомобиля с внешней средой, но и обмен данными между различными системами и элементами внутри автомобиля будет осуществляться на базе единого стека протоколов IP/Ethernet, что дает возможность в полной мере реализовать принципы модульности и открытой архитектуры при создании «умных» транспортных средств [14].

В свою очередь, переход на автоматический режим управления дорожным движением придаст новый импульс к развитию таких систем и дальнейшему расширению сферы его применения для управления подвижными объектами, включая и задачу управления стратосферными платформами.

4.2. Стратосферные платформы для организации глобальной сети беспроводной связи.

Реализация концепции дистанционного программного управления подвижными объектами требует прорыва в области беспроводной связи. Применение облачных сервисов для управления критически важными системами и объектами, такими, как транспортные средства, требует достижения беспрецедентно высокой сетевой доступности сервисов управления (до 99,999%) для управляемых ими подвижных объектов, чего существующие сети обеспечить не в состоянии. Кроме того, необходимо создать приемо-передающие модули с существенно лучшими энергетическими и массо-габаритными характеристиками, поскольку уже сейчас беспроводные приемо-передающие устройства устанавливаются на подвижные объекты, имеющие весьма ограниченные габариты, а главное – крайне ограниченные возможности по их энергообеспечению.

Именно такую цель ставят перед собой разработчики систем сотовой связи пятого поколения и других перспективных беспроводных систем [15].

Но совершенствования лишь наземных систем связи недостаточно, поскольку применение только наземной связи не дает возможности покрыть все «мертвые зоны» даже в крупных населенных пунктах, не говоря уже об огромных пространствах вне их [16]. Спутниковая связь для этих целей также не подходит из-за присущей ей неприемлемо высокой задержки сигнала – до 500 мс и более, высокой стоимости и ряда других ограничений [17].

Оптимальным решением этой задачи является создание в дополнение к сетям наземной проводной и беспроводной связи постоянно действующих коммуникационных платформ в стратосфере, на высоте около 20 км, обладающих наилучшим соотношением по площади покрытия и задержке сигнала. В связи с этим активное развитие получили проекты создания глобальной беспроводной сети связи, у Google – на стратосферных аэростатах (проект «Project Loon»), у Facebook (проект «Internet.org») – на стратосферных беспилотных самолетах с продолжительностью полета более года. В рамках реализации этих инициатив планируется запуск десятков тысяч малых стратосферных платформ. Одной из важных инновационных особенностей проекта «Project Loon» является объект автоматического управления. Это не платформы-стратостаты – они неуправляемы и дрейфуют в стратосфере, что позволяет сделать их компактными и дешевыми, а параметры состоящей из них глобальной беспроводной сети связи, которые адаптируются под местоположение ее узлов (стратостатов) и под трафик, создаваемый абонентами сети.

Стоит отметить, что благодаря указанному выше основополагающему принципу концепции программно-конфигурируемой инфраструктуры, состоящему в переносе функционала управляемого объекта на уровень программного сервиса [18], появляется возможность использовать один и тот же объект (стратосферную платформу) как в гражданских, так и в военных целях путем разработки соответствующего программного обеспечения и реализации его в виде облачного сервиса, совместимого с такой платформой. Как указано выше, именно такой подход лег в основу новых принципов развития тематики стратосферных платформ, сформулированных в 2014 году в США. Так, стратосферные платформы планируется теперь использовать не только в военных, но одновременно и в коммерческих (связь) и научных целях, и создавать такие платформы преимущественно за счет средств частных фондов [7].

4.3. Технологии энергообеспечения.

Экономичные электродвигатели, легкие и эффективные солнечные батареи и регенерируемые топливные элементы, а также автоматические системы оптимизации их работы – это ключевые технологии, необходимые для успешного создания энергетически нейтральной силовой и энергосистем постоянно действующей стратосферной платформы, прорыва по которым не удалось достичь в рамках только военных программ.

В гражданской сфере высокая востребованность альтернативных и возобновляемых источников энергии и других технологий, позволяющих реализовать принцип энергетической нейтральности для самых разнообразных объектов, обусловлена необходимостью снижения зависимости объектов программно-управляемой инфраструктуры от внешних источников электропитания, вплоть до полной энергетической независимости. То есть всю потребляемую энергию такой объект должен вырабатывать сам. Это достигается как снижением энергопотребления, так и использованием альтернативных (с более высоким КПД, нежели чем у традиционных) и возобновляемых источников энергии.

Возникшая относительно недавно необходимость реализации принципа энергетической нейтральности создала мощный стимул к развитию в общем то давно известных, но пребывавших в тени традиционной энергетики систем, таких как солнечные, ветровые, топливные элементы, более эффективные аккумуляторы и прочее, а также их сочетаний.

Так, в частности, лидеры облачной индустрии добились значительных успехов в переводе на принцип энергетической нейтральности ключевых объектов

инфраструктуры облачной экономики – датацентров. Например, датацентры корпорации Apple - одни из крупнейших в мире – уже сейчас 75% своих потребностей в электроэнергии обеспечивают за счет возобновляемых источников, а в ближайшие годы этот показатель планируется довести до 100% [19]. Другой лидер облачной индустрии – корпорация eBay, осенью 2013 года запустила в эксплуатацию датацентр, основная система энергоснабжения которого была полностью выполнена на топливных элементах. В свою очередь, корпорация Microsoft выдвинула идею замены традиционной схемы энергоснабжения датацентров на располагаемые непосредственно в серверных стойках компактные топливные элементы, что в сочетании с технологиями фрикулинга также позволит реализовать принцип энергетической нейтральности датацентра [20].

Прорыв в области массового производства высокоэффективных аккумуляторов, электродвигателей и компактных топливных элементов для подвижных объектов ожидается по мере распространения автотранспорта с альтернативными и гибридными энергоустановками. Так, настоящим прорывом в этой сфере стал электроавтомобиль фирмы Tesla, создателям которого удалось добиться рекордного сочетания высоких динамических характеристик автомобиля и дальности пробега на одной зарядке аккумуляторов, причем используя традиционные литий-ионные аккумуляторы [21]. Этот успех дал мощный импульс и другим автопроизводителям, а также привел к ускоренному развитию необходимой инфраструктуры, в частности, электрозаправок. В совокупности речь идет о потенциале производства миллионов электроавтомобилей в год, что делает коммерчески привлекательными многие проекты создания аккумуляторов на новых технологических принципах, позволяющих существенно улучшить их массо-энергетические характеристики.

Для снижения энергозависимости подвижных объектов планируется широко применять солнечные батареи нового поколения. Так, в конструкции новой гибридной версии легкового автомобиля модели Ford C-MAX применены наклеенные на крышу автомобиля легкие пленочные солнечные батареи с высоким КПД в 24% [22]. Стоит отметить, что высокоэффективные тонкопленочные солнечные панели, наклеиваемые на оболочку дирижабля - один из ключевых элементов системы энергоснабжения стратосферного дирижабля, создаваемого по программе ISIS.

5. Порядок реализации и сферы применения стратосферных платформ связи и наблюдения в России.

Описанное выше развитие событий позволяет предположить, что уже до конца текущего десятилетия появятся не только отработанные технологии, но и готовые

аппаратные модули для создания систем энергообеспечения, коммуникаций и управления с требуемыми для больших стратосферных долговременных платформ характеристиками. И этими модулями можно будет воспользоваться при создании собственных стратосферных платформ, не инвестируя в их разработку. Основное бремя затрат на создание таких модулей несут глобальные провайдеры облачных сервисов в кооперации с мировыми производственными корпорациями, в частности, автопроизводителями и производителями информационно-коммуникационного оборудования. Ввиду того, что необходимые модули и компоненты создаются в расчете на массовое гражданское применение, можно рассчитывать на их глобальную доступность и приемлемую стоимость.

При этом основные усилия следует сосредоточить на отработке алгоритмов, программного обеспечения и соответствующей наземной инфраструктуры, необходимой для управления стратосферными платформами и анализа поступающей от них информации. Такие инвестиции вполне укладываются в рамки российского оборонного бюджета, более того, к ним целесообразно подключить и гражданские компании России, успешно работающие в сфере облачных технологий.

Что даст создание стратосферных долговременных платформ для России в оборонной и гражданской сферах?

Наиболее очевидным ответом на этот вопрос является такой. Протяженность российских границ – наибольшая в мире, более 60 тыс. км. В условиях значительных бюджетных ограничений использование стратосферных платформ является единственной экономически обоснованной возможностью обеспечить должный уровень контроля за ситуацией на границе и в прилегающих областях.

Более того, как уже говорилось выше, развертывание полноценной группировки стратосферных систем наблюдения и связи создаст необходимые инфраструктурные предпосылки для решения задачи автоматического управления не только дорожным движением, но и вообще всеми видами объектов транспорта на всей территории страны, что только в части дорожного движения позволит значительно снизить уровень аварийности и смертности автомобильных перевозок, который в настоящее время составляет 30 тысяч погибших в год только непосредственно на месте ДТП [23].

Но есть и не менее важная, но менее очевидная задача, которую можно решить путем развертывания стратосферной группировки. Это кардинальное повышение устойчивости функционирования систем управления ключевыми процессами жизнедеятельности в масштабе страны. И здесь нет никакого преувеличения.

Данная проблема носит фундаментальный характер и проистекает из чрезвычайно высокого уровня концентрации деловой и социальной активности непосредственно в г. Москва и Московской области. Так, 80% всех коммерческих площадей РФ сосредоточено в г. Москва, 80% вновь возводимых складских площадей – в Московской области [18], более 60% товарооборота идет через Москву и область [24], в Москве осуществляется не менее 80% финансовых транзакций.

Поэтому и информационные потоки, генерируемые такой активностью, имеют ту же точку притяжения. Как следствие, все основные наземные линии связи сходятся именно в Москве, здесь же расположено более 80% площадей центров обработки данных [18], в которых происходит обработка и передача по сходящимся в Москве линиям связи большей части данных, необходимых для управления экономикой страны.

Очевидно, что устойчивость такой сверхцентрализованной системы к воздействию различного рода дестабилизирующих факторов недостаточна, примером чего служат последствия отключения энергоснабжения в г. Москва в мае 2004 года [25].

В этой связи необходимо отметить, что системы основного электропитания всех без исключения датацентров в г. Москва и Московской области на 100% зависят от внешних источников энергоснабжения, а системы резервного электропитания построены на базе дизель-генераторных установок с запасом топлива в среднем на 12 часов непрерывной работы. Более того, в настоящее время не существует дизель-генераторов, способных проработать более 72 часов без замены масла, что делает невозможной их длительную непрерывную работу даже при наличии необходимых запасов топлива.

С другой стороны, в г. Москва крайне сложно на практике реализовать принцип энергетической нейтральности датацентров ввиду высокой плотности застройки, недостаточной инсоляции и недостаточно низкой среднегодовой температуры окружающего воздуха.

Необходимо отметить, что создание устойчивого к внешним воздействиям центра управления обороной [26] является необходимым, но недостаточным условием повышения устойчивости управления ключевыми процессами жизнедеятельности государства, поскольку центры управления сами по себе никак не влияют на обработку, хранение и передачу данных, необходимых для функционирования этих центров.

И именно здесь может сыграть решающую роль стратосферная группировка как альтернативная устойчивая система передачи данных телеметрии и телеуправления.

Ведь для обеспечения устойчивости управления основными процессами жизнедеятельности государства необходим не весь стекающийся в Москву объем данных, а только небольшая (по объему) их часть, относящаяся к данным генерируемым системами управления и теми датчиками и исполнительными устройствами, с которыми они взаимодействуют. В случае же успешной реализации концепции программно-конфигурируемых беспроводных сетей, позволяющей рационально, в режиме реального времени управлять пропускной способностью и другими характеристиками сети, оптимизируя их под требования именно такого типа трафика, беспроводные сети станут реальной альтернативой наземным оптоволоконным сетям связи при создании систем управления критически важными территориально-распределенными процессами и объектами.

Таким образом, наличие устойчивой группировки стратосферных платформ для размещения перспективных систем связи и наблюдения, в сочетании с облачным принципом управления ключевыми процессами и элементами социально-экономической деятельности, включая возможность неограниченного резервирования систем управления одними и теми же объектами, и размещением «сердца» этих систем управления – датацентров - в зонах, где достигим минимальный уровень угроз нарушения их работы, позволит существенно повысить устойчивость систем управления основными процессами жизнедеятельности государства.

Работы по разработке таких платформ целесообразно включить в программу создания национального центра управления обороной, реализация которой началась в 2014 году.

Список литературы

1. The implementation of network-centric warfare. Office of the US Secretary of Defense. [Электронный ресурс]. - Режим доступа: www.carlisle.army.mil/DIME/documents/oft_implementation_ncw%5B1%5D.pdf (дата обращения: 04.03.2014).
2. Future Aerostat and Airship Investment Decisions Drive Oversight and Coordination Needs. United States Government Accountability Office. [Электронный ресурс]. - Режим доступа: www.gao.gov/products/GAO-13-81 (дата обращения: 07.03.2014).
3. Summary report of DoD funded lighter-than-air vehicles. Office of the Assistant Secretary of Defense for Research and Engineering, Rapid Reaction Technology Office, US Senate. [Электронный ресурс]. - Режим доступа: www.hsdl.org/?view&did=728733. (дата обращения: 07.03.2014).

4. Recent Development Efforts for Military Airships . Congressional Budget Office. - [Электронный ресурс]. - Режим доступа: www.cbo.gov/publication/42725. (дата обращения: 10.03.2014).
5. Повышение энергоэффективности. Законодательство ЕС. [Электронный ресурс]. - Режим доступа: zvt.abok.ru/articles/80/Povishenie_energoeffektivnosti_Zakonodatelstvo_ES. (дата обращения: 12.03.2014).
6. Рыночная капитализация Google впервые в истории превысила \$400 млрд. - [Электронный ресурс]. – Режим доступа: ria.ru/economy/20140212/994388920.html. (дата обращения: 03.03.2014).
7. Airships: A New Horizon for Science. Keck institute for space studies. [Электронный ресурс]. - Режим доступа: www.kiss.caltech.edu/study/airship/ (дата обращения: 02.04.2014).
8. Интеллектуальное видео от компании Axis. Проектирование системы. [Электронный ресурс]. - Режим доступа: www.axis.com/ru/products/video/about_networkvideo/iv/system_design.htm (дата обращения: 02.04.2014)
9. Peugeot Citroen и IBM запустят новые сервисы в автомобилях. [Электронный ресурс]. - Режим доступа: www.cnews.ru/top/2014/03/28/peugeot_citroen_i_ibm_zapustyat_novye_servisy_v_avtomobilyah_566006 (дата обращения: 02.04.2014)
10. David Floyer. Defining Software-led Infrastructure. [Электронный ресурс]. - Режим доступа: wikibon.org/wiki/v/Defining_Software-led_Infrastructure. (дата обращения: 27.03.2014)
11. Расшифровывая Siri. [Электронный ресурс]. - Режим доступа: habrahabr.ru/post/132652/ (дата обращения: 27.03.2014)
12. Aircraft Accident Data Sources and Trends. Transportation Research Board – Airport Cooperative Research Program (TRB-ACRP). [Электронный ресурс]. - Режим доступа: onlinepubs.trb.org/onlinepubs/acrp/acrp_rpt_027AircraftAccidentData.pdf. (дата обращения 15.03.2014).
13. В США готовится отраслевой стандарт о внедрении V2V/ V2I в легковых автомобилях. [Электронный ресурс]. - Режим доступа: www.cnews.ru/news/top/index.shtml?2014/03/19/565118 (дата обращения: 27.03.2014).
14. Ethernet проникает в автомобили. [Электронный ресурс]. - Режим доступа: www.cnews.ru/top/2014/03/11/ethernet_pronikaet_v_avtomobili_563824 (дата обращения: 27.03.2014).

15. Start thinking about 5G wireless. [Электронный ресурс]. - Режим доступа: money.cnn.com/2012/03/08/technology/5G-wireless/ (дата обращения: 25.02.2014).
16. Покрытие магистральных автодорог в РФ сотовой связью улучшилось по итогам квартала у всех операторов "большой четверки". [Электронный ресурс]. - Режим доступа: www.comnews.ru/node/71073 (дата обращения: 04.04.2014).
17. Dennis Roddy. Satellite Communications. [Электронный ресурс]. - Режим доступа: bigsemiter.tripod.com/mcgraw.pdf (дата обращения: 04.04.2014)
18. Герасимов А.В. Объем рынка «облачных» зданий составит десятки миллиардов долларов. [Электронный ресурс]. - Режим доступа: www.cnews.ru/reviews/new/preview/articles/3f0e37fd82dbd591237f3f439b4ca53234eaf781/ (дата обращения: 03.04.2014).
19. Наш путь к 100-процентному использованию энергии из возобновляемых источников. [Электронный ресурс]. - Режим доступа: www.apple.com/ru/environment/renewable-energy/ (дата обращения: 03.04.2014).
20. Microsoft помещает топливные элементы прямо в серверные стойки. [Электронный ресурс]. - Режим доступа: habrahabr.ru/company/kingservers/blog/204038/ (дата обращения: 03.04.2014).
21. Слово 2013 года — Tesla. [Электронный ресурс]. - Режим доступа: drugoi.livejournal.com/3925548.html (дата обращения: 03.04.2014).
22. Будущее здесь: самые яркие концепты Женевы. [Электронный ресурс]: www.autonews.ru, 2014. - Режим доступа: www.autonews.ru/first_look/news/1776732/ (дата обращения: 04.04.2014).
23. В 2012 году в России в ДТП погибли 28 тысяч человек. [Электронный ресурс]. - Режим доступа: www.gazeta.ru/auto/news/2013/01/25/n_2723869.shtml (дата обращения: 05.04.2014).
24. Программа развития транспортного комплекса Московского региона на 2010 – 2015 гг. [Электронный ресурс]. - Режим доступа: www.rg.ru/2008/08/29/levitin.html. (дата обращения: 04.04.2014).
25. Об аварийном отключении 24-26 мая 2005 года электроснабжения в городе Москве и мерах по совершенствованию системы городского энергоснабжения. Правительство г. Москва. [Электронный ресурс]. - Режим доступа: www.mos.ru/documents/index.php?id_4=118452 (дата обращения: 05.04.2014).
26. В Москве началось строительство Национального центра управления обороной России. - [Электронный ресурс]. - Режим доступа: www.rg.ru/2014/01/20/oborona-site.html. (дата обращения: 05.04.2014).