

## ТЕНДЕНЦИИ РАЗВИТИЯ МАЛЫХ КОСМИЧЕСКИХ АППАРАТОВ ДИСТАНЦИОННОГО ЗОНДИРОВАНИЯ ЗЕМЛИ

Национальный технический университет  
«Харьковский политехнический институт»

*Рассмотрены целевые задачи, области применения спутников дистанционного зондирования Земли, их характеристики и основные направления развития*

### Вступ

Современные технологии развития общества тесно связаны с развитием космической отрасли [1]. В современном стремительно изменяющемся мире мы становимся свидетелями непрерывных революционных технологических изменений. Если XX век уже стал веком цифровых технологий, то XXI век можно назвать веком космических цифровых технологий [2, 3].

Со времен первого запуска в 1957 г. и до настоящего момента было выведено на орбиту более 6000 космических аппаратов (КА) различного назначения, принадлежащих более чем 60 государствам мира. Искусственные спутники Земли играют все более важную роль в жизни на Земле. Они используются для связи, навигации, в сфере государственной безопасности, решения глобальных проблем изменения климата и состояния окружающей среды, развлечений и т.д. [2, 3].

По данным ВВС на сегодняшний день на орбите Земли функционирует около 1000 спутников различного назначения [4]. Из них около половины принадлежит США (45%), далее по количеству спутников идет Россия (10%), Китай (7%) и Япония (4%). На данный момент космическими технологиями и собственными спутниками владеют 44 страны, среди которых и Украина. Ряд стран не могут позволить себе содержать и обслуживать КА самостоятельно, поэтому около 115 государств являются совладельцами части спутников. Доля таких спутников на текущий момент составляет более 5% от общего числа активных КА на орбите.

Назначение спутников во многом зависит от потребностей человечества. В 1970-е годы была большая потребность в спутниках связи, в 1990-е годы – потребность в навигационных спутниках, а в последнее десятилетие - в гражданских и научно-исследовательских спутниках.

### Помтановка проблеми

По тенденции развития КА и области их применения можно сделать вывод, что космические державы продолжают строительство крупных, долговечных спутников и малых спутников для решения конкретных задач, а международные гражданские институты, такие как университеты, могут взяться за производство малых, более дешевых спутников.

По данным Международной исследовательской организации *Teal Group* за последнее десятилетие было выведено на орбиту около 1000 спутников различного назначения в интересах приблизительно 150 клиентов из 50 стран. На долю 21 заказчика приходится 25 % рынка космических запусков. На долю лидеров рынка, среди которых ведущие американские аэрокосмические компании “*Boeing Company*”, “*Lockheed Martin*” и “*Orbital Science Corporation*”, приходится до 75% всех КА [5].

В начале 2000-х годов треть потенциальных заказчиков отказывается от планов запуска спутников различного назначения, но вместе с тем количество желающих вывести малые космические аппараты (МКА) весом до 100 кг возрастает на 68 %. Среди них небольшие спутники Национального разведывательного управления США, 100-килограммовые спутники *Techsat21s*, 80-килограммовые спутники системы спутникового наблюдения типа *GANDERS*, 10-килограммовые спутники американского космического ведомства типа *MCM* (“*Magnetosphere Constellation Mission*”), однокилограммовые спутники типа “*CubeSat*”, разработанные в Калифорнийском политехническом и Стэнфордском университетах, и др. [5].

По оценке Института космических исследований Украины НАНУ и ГКАУ увеличивается тенденция пусков МКА [5]. Согласно этим данным стоимость одной космической миссии на начало 1990-х годов

составляла 553 млн. долл., к 2001 году – 165 млн. долл., а к 2004 году – около 50 млн. долл. Такая тенденция снижения стоимости связана с увеличением количества запусков КА на орбиту каждый год, с возможностью использования дешевых систем многократного использования пусковой установки и уменьшения веса КА. В начале 1990-х годов средний вес КА составлял несколько тонн, а к 2001 году уменьшился до нескольких сотен килограмм.

### **Анализ развития малых КА**

Малые КА быстро и широко развиваются за рубежом. На практике они показали свою эффективность, целесообразное использование ресурсов для решения поставленных задач наблюдения. На их основе создаются региональные и глобальные системы связи. МКА способны решать задачи фундаментальных наук и выполнять прикладные задачи не хуже больших КА. На сегодняшний момент около 40% всех зарубежных КА составляют МКА [6].

В настоящее время в отечественной и зарубежной литературе под малыми понимаются аппараты, имеющие массу до 1000 кг. В зарубежной литературе, а в последнее время и в отечественной, КА классифицируются по весу следующим образом [5, 6]:

- большие космические корабли (свыше 1000 кг);
- мини-спутники (100- 1000 кг);
- микроспутники (10-100 кг);
- наноспутники (1-10 кг);
- пикоспутники (0.1-1 кг);
- фемтоспутники (менее 0.1 кг).

Работы по созданию и развитию МКА были и остаются актуальными по сегодняшний день. Одним из перспективных направлений развития космической техники является построение КА на базе универсальных космических платформ (УКП). В научной литературе такие платформы еще называют базовыми космическими платформами или платформами служебных систем [6].

Платформа подобного типа служит базовой основой для построения КА. На ней размещается бортовой комплекс управления, система электроснабжения, система терморегулирования КА, которая поддерживает нормальное функционирование КА на орбите в течение всего срока активного функционирования. Кроме этого данная

платформа оборудуется полезной нагрузкой целевого назначения.

Преимущества использования и применения УКП заключается не только в стоимости и сроках разработки КА, но и в многократном использовании опробованных и не сложного внедрения новых технологий. В мире разработано и функционирует не мало УКП для решения различных задач. Они отличаются по величине полезной нагрузки, энергоресурсу, надежности, стоимости и т.д.

Проанализировав отечественные и зарубежные разработки конструирования МКА можно сделать вывод, что есть устойчивая тенденция к использованию УКП для каждого весового класса МКА.

Среди зарубежных разработок стоит отметить весомый вклад в развитие и эксплуатацию УКП России. Так, в РРК «Энергия» им. С.П. Королева создана УКП «Ямал» (рис. 1). Она прошла летную апробацию в составе спутника связи «Ямал» в 1999г. В ГКНПЦ им. М.В. Хруничева разработана УКП «Яхта». На ее основе были созданы МКА связи, дистанционного зондирования Земли и научных исследований на орбите различной высоты и ориентации. В НПО машиностроения разработана платформа похожая и близкая к платформе «Яхта». Так же этими вопросами занимаются в НПО ПМ им. М.Ф. Решетнева, КБ «Полет», НПП ВНИИЭМ [6].



Рис. 1. Космический аппарат СПЕКТР-РГ на базе УКП «Ямал»

Среди стран дальнего зарубежья стоит отметить следующие проекты. Проект создания наноспутников *CubeSat* принадлежит профессору Стэнфордского университета Бобу Твиггсу (*Bob Twiggs*). Проект был принят в 1999 г. на университетском симпозиуме космических систем. Было решено изготовить и запустить порядка 20 нано-КА на основе единой базовой платформы, представляющей

собой куб. Масса такого аппарата составила 1 кг. (рис. 2).

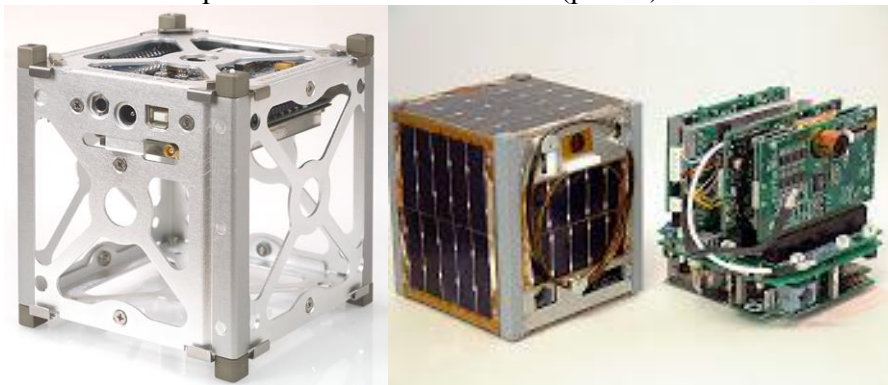


Рис. 2. Платформа и реализация наноспутника *CubeSat*



Рис. 3. Микроспутник *DRL-Tubsat*

Спутник *QuakeSat* был изготовлен в лаборатории разработки космических систем Стэнфордского университета (США) под руководством профессора Роберта Твиггса (*Robert Twiggs*). КА имеет массу 3 кг и был запущен в 2003 году. Он предназначен для выполнения научных исследований по обнаружению признаков землетрясений.



Рис. 4. Нано-спутник *SNAP-1*

Германский микроспутник дистанционного зондирования Земли (ДЗЗ) *DRL-Tubsat* (рис. 3) изготовлен по заказу Германского аэрокосмического центра *DRL* и предназначен

для летной отработки системы съемки земной поверхности по заказу пользователя.

Технологический нано-спутник Великобритании *SNAP-1* на базе Суррейской прикладной платформы разработан *SSTL* (*Surrey Satellite Technology Limited*) для инспекции КА на орбите с разрешением - 500 м. (рис. 4).

Бельгийский мини КА ДЗЗ *PROBA* (*Project for On-Board Autonomy* – Проект бортовой автономии) разработан бельгийской компанией *Verhaert Design and Development* по заказу Европейского космического агентства (рис. 5).

Среди международных проектов стоит отметить систему *DMC-Desister Monitoring Constellation*. Идея системы была выдвинута британской компанией *SSTL* (*Surrey Satellite Technology Limited*) на конгрессе Международной астронавтической федерации в Пекине в 1996 г. Спутниковая группировка состоит из пяти аппаратов созданных силами специалистов Алжира, Британии, Нигерии, Турции и Китая под руководством компании *SSTL*. Каждый участник получает возможность принимать информацию со всех спутников: *ALSAT-1*, *BILSAT-1*, *NigeriaSat-1*, *UK-DMC*, *Beijing-1*. Все КА строятся базе на платформы *MicroSat-100* [7].

Необходимым условием, предъявляемым к требованиям бортовой системы управления и навигации, ориентации для МКА и УКП, является минимально возможный вес конструкции при сохранении точности, надежности, энергозатратности и других требований необходимых для данного класса КА.

Согласно анализу практических разработок и обзору литературы, почти все современные МКА и УКП содержат бесплатформенную инерциальную систему навигации и ориентации (БИСНО), построенную на базе



новых гиromетров, акселерометров и вычислительных комплексов.



Рис. 5. Бельгийский мини КА D33 PROBA

Масса, габариты и энергоемкость современных элементов позволяет создавать БИСНО, удовлетворяющие по своим параметрам требования, предъявляемые при их установке на МКА и УКП. К недостаткам современных элементов и приборов можно отнести то, что они имеют большие дрейфы и уходы (особенно гиromетры), приводящие к быстрому росту погрешностей БИСНО (особенно в части определения ориентации). Так же при длительной эксплуатации аппарата влияние солнечного излучения вносит существенное искажение в работу элементов системы управления и наблюдения. Однако, имеется информация, что в ряде зарубежных фирм уже решена данная проблема благодаря созданию специальных материалов, стойких к воздействию частиц высокой энергии [6].

На сегодняшний день одним из известных и широко используемых методов коррекции такой погрешности является измерение положения астроориентиров (Солнца, Земли, звезд и других объектов) с помощью автоматических оптико-электронных приборов. Благодаря развитию цифровой техники и разработке новых современных композитных материалов данные приборы будут обладать малым весом, малой энергоемкостью и удовлетворять все требования, необходимые для установки их на МКА и УКП, а так же работать в режиме реального времени.

Таким образом, можно сделать вывод, что разработка и использование МКА является перспективным направлением космической деятельности. Это связано со следующими обстоятельствами:

1. Массовый спрос на услуги, представляемые ракетно-космической техникой (Интернет-технологии, связь, навигация, метеорология, дистанционное зондирование Земли и акватории океанов, научные исследования);

2. Создание новых легких конструкционных материалов, микропроцессоров с высокой производительностью, миниатюрных фотокамер, микромеханизмов, микросенсоров и т.д.;

3. Высокая конкуренция со стороны ведущих космических корпораций и стремлением снижения затрат на разработку и эксплуатацию космической техники при одновременном увеличении качества и эффективности использования орбитальных группировок КА.

Отметим, что в классе микроспутников практически отсутствуют телевизионные и радиовещательные спутники. Это объясняется тем, что, например, для работы вещательного передатчика нужна электроэнергия, запас которой определяется площадью солнечных батарей, следовательно, такие спутники уже не будут являться малыми. Для передачи сообщений в режиме почтового ящика или персональной связи, не потребляющих много электроэнергии, МКА использовались с 60-х годов в аппаратах «Стрела-1» и «Стрела-2», а затем «Гонец-Д». Масса таких аппаратов не превосходила 300 кг, а пропускная способность канала до 10000 Мбит/сутки. Зарубежные системы связи включают в себя МКА *Orbcomm*, *Globalstar* и другие. Каждая из систем содержит в своем составе несколько десятков спутников, летающих по разным орбитам, что приводит к почти равномерному покрытию земной поверхности их траекториями. Эти спутники скорее можно назвать связными, коммуникационными, но не радиовещательными [8].

Не смотря на то, что существуют задачи, которые не способны решить МКА (например, вывод человека на орбиту, создание сверхточных телескопов и т.п.), все-таки интерес к МКА с каждым годом все больше растет.

#### **Анализ и прогнозы развития КА дистанционного зондирования Земли**

Каждая страна, входящая в «клуб космических держав», старается свой первый

спутник снабдить камерой для съемки поверхности Земли [8].

На сегодняшний день во всем мире наблюдается тенденция стремительного прогресса в области развития и использования спутников ДЗЗ как военного, так и гражданского назначения. Число стран, участвующих в непосредственной реализации тех или иных проектов связанных со спутниками ДЗЗ, превысило 30 страны, 24 из которых имеют собственные спутники ДЗЗ.

Коммерческие средства дистанционного зондирования Земли из космоса только начинают свое развитие. Сельское хозяйство, региональное развитие, строительство, добывающая промышленность все шире используют данные ДЗЗ. Существующие космические средства ДЗЗ, такие как *Spot*, *Landsat* и т.п., не являются чисто коммерческими, несмотря на рыночные принципы распространения получаемой информации. Эти системы субсидируются государственными органами, так как на современном этапе их эксплуатация не окупается. По оценкам специалистов выручка от частных и космических проектов, связанных со спутниками ДЗЗ, на текущий момент составляет 6-7 млрд. долл., что составляет около 2-3 % от общего объема доходов космической отрасли [9].

Тем не менее, предпринимаются попытки создания коммерческих КА ДЗЗ. К их числу относятся уже действующие системы *Orb View*, *Ikonos*, а также создаваемые системы, начало эксплуатации которых ожидается в ближайшие годы, такие как *Early Bird* и др.

Число коммерческих КА ДЗЗ, запуск которых прогнозируется зарубежными специалистами на период 1998-2012 гг., составит примерно 100 аппаратов, т.е. около 5 % от общего числа запущенных спутников на тот же период времени [9]. Однако сейчас на околоземной орбите функционирует порядка 100 спутников ДЗЗ коммерческого, правительственного, военного и гражданского назначений. В настоящее время отмечается исключительно высокий уровень информативности от КА ДЗЗ по наблюдениям земной поверхности. Со всех спутников ДЗЗ поступает около 1 терабайта данных в сутки [10].

В ближайшее десятилетие прогнозируется рост в потребности космической информации ДЗЗ во всех сферах деятельности человека,

расширение круга ее производителей и пользователей. По данным аналитической компании

*Euroconsult* к 2020 г. прогнозируется рост мировой индустрии ДЗЗ почти в два раза. Также к тому сроку количество функционирующих спутников ДЗЗ должно вырасти до 260 аппаратов [2, 10].

Разработки спутников ДЗЗ на сегодняшний день является одним из актуальных и приоритетных направлений космической техники для социально-экономической и научной сферы деятельности в мире.

В настоящее время большая часть КА ДЗЗ предназначено для решения правительственных и военных задач. Производится вывод спутников для решения ключевых государственных и межнациональных задач за бюджетный счет, что не позволяет этой отрасли развиваться в полном объеме своих потенциальных возможностей и оставаться экономически убыточной деятельностью.

### **Классификация спутников ДЗЗ**

Съемка земной поверхности производится в широком спектре электромагнитного излучения. Современные камеры, установленные на борту спутников ДЗЗ, проводят съемку с расширением от 0,25 м и до 100 км в зависимости от выполняемой цели.

Основными отличительными особенностями оптико-электронных КА нового поколения являются их беспрецедентная производительность, в том числе и в режиме стереосъемки, а также возможность получения данных с пространственным разрешением не хуже 50 см, а без наземных опорных точек с точностью не хуже 5 м. К таким аппаратам относятся спутники *WorldView-1*, *WorldView-2* и *GeoEye-1*.

По типу получаемых данных спутники ДЗЗ делят на [11]:

- Сверхвысокого разрешения – до 1 м. Среди существующих функционирующих спутников с данным разрешением можно выделить такие аппараты: *Ikonos-2*, *QuickBird-2*, *OrbView-3*, *EROS-B*;

- Высокого разрешения – 1-10 м. Аппараты: *EROS-A*, *IRS-P6/LISS-4*, *SPOT-5*;

- Среднее разрешение – 10-250 м. Аппараты: *IRS-1C/-1D/-P6*, *SPOT-2/4*, *Landsat-5*, Монитор-Э;

- Низкое разрешение – свыше 250 м. Аппараты: *TERRA, AQUA, ENVISAT-1/MERIS*;
- Стерео. Аппараты: *IRS-P5, SPOT-5*;
- PCA - 8-100 м. Аппараты: *Radarsat-1, ENVISAT-1, ERS-2*.

Одной из приоритетных задач ДЗЗ является регулярное, систематическое обеспечение космической информацией широкого круга потребителей в военной и экологической сферах, при управлении природными

ресурсами на земле и в море, а так же для потребительского рынка.

Удовлетворение разнообразных требований потребителей в различных направлениях применения космической информации по детальности и периодичности получаемых данных является главной проблемой создания космических систем ДЗЗ [10].

В таблице 1 приведены требования отечественных и зарубежных потребителей в различных областях [2, 10].

Таблица 1. Требования к космической информации

Направления применения космической информации	Требуемое пространственное разрешение, м	Период обновления данных, ч
Природопользование	5-100	80-100000
Практическая метеорология	500-5000	0,1-900
Мониторинг мирового океана	20-500	0,1-900
Чрезвычайные ситуации	0,5-20	0,1-900
Картография	100-2000	900-100000
Прокладка трасс трубопроводов и транспортных магистралей	0,5-5	900-100000
Научное изучение Земли	5000-10000	50-100000

Как видно из результатов, обобщенных в табл. 1, вся совокупность задач потребителей в различных областях социально-экономической деятельности не может быть решена одной универсальной космической системой.

В настоящее время перспективные космические системы ДЗЗ разрабатываются в России, США, Италии, Канаде, Индии и других странах.

Стоит упомянуть некоторые из них. Например, в США начато разрабатывать объединенную полярную спутниковую систему *JPSS (Joint Polar Satellite System)*. Данная система разрабатывается *NASA* совместно с компанией *Ball Aerospace & Technologies*. Задачей этой системы является определение характеристик земной атмосферы в дневное время, что позволит повысить качество и точность предсказаний погодных явлений [2, 10].

В Италии разрабатывается система *COSMO-SkyMed* компанией *Thales Alenia Space* [2, 10]. В Канаде уже существует система *Radarsat Constellation Mission* [2, 10].

Таким образом, смело можно отнести ДЗЗ к одной из тех высокотехнологичных отраслей, которые развиваются исключительно высокими темпами. Дальнейший прогресс в этой отрасли будет в значительной степени связан с развитием технологий обработки и доведения до потребителя в нужном ему виде

колоссальных объемов данных, получаемых с помощью новейших аппаратов ДЗЗ. Это, в свою очередь, предъявляет самые высокие требования к уровню подготовки потребителя, а также требует исключительно эффективной работы всех звеньев системы обеспечения конечного пользователя своевременной и качественной геопрограммной информацией.

### **Перспективные направления разработки спутников наблюдения Земли**

Анализ процессов, происходящих в различных странах мира в космической отрасли, позволяет выделить следующие тенденции в разработке и создании перспективных космических аппаратов наблюдения Земли:

- рост относительного числа спутников малой массы и малого размера;
- увеличение спроса потребителей на снимки высокого разрешения и качества (уменьшение пространственного разрешения до 0.5-1 м.);
- освоение микроволнового радиодиапазона для всепогодной съемки;
- начало освоения нанотехнологий;
- разработка и создание кластерных космических систем из малых спутников;

- разработку и внедрения новых методик и приборов ДЗЗ для повышения качества изображения;

- расширение состава исследовательских КА за счет создание аппаратов нового типа на базовых платформах и участия университетов;

- начало формирования космических систем глобального наблюдения Земли в рамках международного сотрудничества, в частности по контролю и предупреждению глобальных климатических изменений.

Особый интерес представляет создание специфических орбитальных группировок, направленных на решение конкретных задач той или иной группы потребителей и на гарантированное обеспечение непрерывного потока информации. КА, входящие в состав таких групп, обычно создаются на основе одной УКП, что позволяет повысить скорость создания группировки и сделать систему более удобной в обслуживании. Благодаря этому будет снижаться стоимость технических средств получения информационных ресурсов. Выведенный из строя КА можно в кратчайшие сроки заменить другим аппаратом, таким образом, в общем случае, система будет частично функционировать и тем самым надежность системы значительно повысится.

Как было отмечено выше, в мировой космической отрасли акцент сдвигается на создание и использование конкретно специализированных моноинструментальных легких спутников, предназначенных для решения определенных задач конкретного потребителя.

### **Выводы**

Сейчас широкий круг потребителей из разных сфер социально-экономических отраслей (строительные, производственные, транспортные, сельскохозяйственные, туристические организации и др.) нуждаются в недорогих и простых способах получения данных ДЗЗ. Как было отмечено ранее, создание недорогих МКА ДЗЗ способно существенно снизить удельную стоимость получаемой космической информации и этим привлечь потребителей.

Разработки по созданию МКА ДЗЗ и систем на их основе ведутся во многих странах мира, среди которых США, Россия, Китай, Франция, Индия, Германия, Италия, Израиль, Великобритания, Япония и Украина.

Сочетание высоких характеристик космической информации с необходимой периодичностью ее обновления и оперативной

доставкой потребителям могут стимулировать быстрый рост спроса на данные, получаемые с помощью систем ДЗЗ на основе МКА. Размещение на борту группировки МКА различных типов целевой аппаратуры позволит предоставить потребителям разноплановую информацию, а размещение на борту нескольких МКА однотипной аппаратуры обеспечит высокую периодичность наблюдения территории [10].

Среди проектов, являющимися примером успешной разработки, являются уже упомянутый проект создания МКА на базе платформы *TUBsat* Берлинского технического университета. Было создано и запущено 8 спутников такого типа. Среди других проектов стоит отметить следующие:

- технологический нано-спутник Великобритании *SNAP-1* (2000-033С);

- бельгийский мини КА ДЗЗ *PROBA* (2001-049В);

- пико-спутники серии *BEESAT* Берлинского технического университета;

- система *DMC-Desister Monitoring Constellation* состоящая из 5 спутников.

Таким образом, можно сделать вывод, что разработка МКА и системы на их основании являются на сегодняшний день одной из перспективных задач мировой космической индустрии. По прогнозам специалистов, МКА ДЗЗ должны в ближайшее время занять одно из лидирующих мест в социально-экономической отрасли за счет своей широкой области применимости.

Среди достоинств МКА ДЗЗ по сравнению с большими аппаратами можно выделить следующее:

- запуск МКА проводится по требованию. Необходимо меньше времени на подготовку спутника к запуску. В некоторых случаях возможен воздушный запуск;

- за счет использования УКП комплектация полезной нагрузки может меняться в зависимости от текущих требований заказчика, что незначительно повлияет на процесс разработки КА по сравнению с процессом разработки для крупного аппарата;

- относительно быстрое внедрение новых разведывательных технологий;

- снижение стоимости жизненного цикла системы [10].

Однако к существенным недостаткам использования МКА ДЗЗ стоит отнести тот факт, что пространственное разрешение больших КА примерно на порядок лучше МКА.

**Список литературы**

1. Гершензон В.Е. Дистанционное зондирование Земли: общие проблемы и российская специфика / В.Е. Гершензон // Информационный бюллетень ГИС-Ассоциации. – 2005. – № 3(50). – С. 24-32.
2. <http://www.sovzond.ru/about/publications/540/3239.html> - Болсуновский М.А. Перспективные направления развития дистанционного зондирования Земли из космоса.
3. Суббота А.М., Красножен А.В. Особенности развития малых космических аппаратов /А.М. Суббота, А.В. Красножен // Национальный аэрокосмический университет им. Н.Е. Жуковского «ХАИ». – 2012. – С. 67-71.
7. Космические платформы спутников связи: Обзор по материалам открытой отечественной, зарубежной печати и интернета за 1996-2010 гг. № 330 / С.А. Ечина. – Днепропетровск: ГП «КБ «Южное», 2011. – 27 с.
8. Овчинников М.Ю. Малые мира сего / М.Ю. Овчинников // Компьютера – 2007. - № 15. – С. 37-43.
9. Российские космические системы дистанционного зондирования Земли: Обзор по материалам отечественной печати за 1990-2005 гг. и Интернета № 310 / Л.Я. Павленко. – Днепропетровск: ГП «КБ «Южное», 2005. – 62 с.
10. Тенденции развития космических аппаратов дистанционного зондирования Земли: Обзор по
4. [http://www.bbc.co.uk/ukrainian/news/2011/04/110411\\_satellites\\_orbit\\_it.shtml](http://www.bbc.co.uk/ukrainian/news/2011/04/110411_satellites_orbit_it.shtml)  
Официальный сайт ВВС. Спутники на орбіті - скільки і чий?
5. Волошин В.И., Левенко А.С. Анализ тенденций развития рынка дистанционного зондирования Земли / В.И. Волошин, А.С. Левенко // Космічна наука і технологія. – 2008. – Т. 14, № 2. - С. 13-21.
6. Анучин О.Н., Комарова И.Э., Порфирьев Л.Ф. Бортовые системы навигации и ориентации искусственных спутников Земли / О.Н. Анучин, И.Э. Комарова, Л.Ф. Порфирьев - СПб.: ГНЦ РФ ЦНИИ «Электроприбор», 2004. – 326  
материалам открытой отечественной, зарубежной печати и интернета за 2009-2011 гг. № 331 / Л.Я. Павленко. – Днепропетровск: ГП «КБ «Южное», 2011. – 50 с.
- 11 Спутниковая система связи PanAmSat: Обзор по материалам открытой отечественной и зарубежной печати за 1994-2007 гг. и Интернета № 316 / С.А. Ечина. – Днепропетровск: ГП «КБ «Южное», 2007. – 22 с.
- 12 Экспериментальная отработка систем управления объектов ракетно-космической техники: учеб. пособие / Под ред. Ю.М.Златкина, В.С.Кривцова и др. - Х.: Нац. аэрокосм. ун-т «Харьк. авиац. ин-т», НПП «Хартрон-Аркос», 2008. – 501 с.