

УДК 621.396.43

**АНАЛИЗ ПОТЕНЦИАЛЬНОЙ ЗОНЫ ОБСЛУЖИВАНИЯ И РАДИОКАНАЛА  
НАЗЕМНОГО ОБОРУДОВАНИЯ СПУТНИКОВОЙ СВЯЗИ В УСЛОВИЯХ РАБОТЫ  
АНТАРКТИЧЕСКОЙ СТАНЦИИ «АКАДЕМИК ВЕРНАДСКИЙ»**

ИЛЬЧЕНКО М.Е.<sup>1</sup>, КАПШТИК С.В.<sup>1</sup>, НАРИТНИК Т.Н.<sup>1</sup>,  
ЛИТВИНОВ В. А.<sup>2</sup>, ПРИСЯЖНЫЙ В. И.<sup>3</sup>

<sup>1</sup>*Национальный технический университет Украины «КПИ им. Игоря Сикорского»  
пер. Индустриальный, 2, Киев, 03056, Украина  
e-mail: director@mitris.com*

<sup>2</sup>*Украинский антарктический научный центр  
бул. Тараса Шевченко, 16, Киев, 01601, Украина  
e-mail: uac@uac.gov.ua*

<sup>3</sup>*Национальный центр управления и испытания космических средств  
ул. Московская, 8, Киев, 801010, Украина  
e-mail: ncuvkz@spacecenter.gov.ua*

**АНАЛІЗ ПОТЕНЦІЙНОЇ ЗОНИ ОБСЛУГОВУВАННЯ І РАДІОКАНАЛУ  
НАЗЕМНОГО ОБЛАДНАННЯ СУПУТНИКОВОГО ЗВ'ЯЗКУ В УМОВАХ РОБОТИ  
АНТАРКТИЧНОЇ СТАНЦІЇ «АКАДЕМІК ВЕРНАДСЬКИЙ»**

ИЛЬЧЕНКО М.Ю.<sup>1</sup>, КАПШТИК С.В.<sup>1</sup>, НАРИТНИК Т.Н.<sup>1</sup>,  
ЛИТВИНОВ В. А.<sup>2</sup>, ПРИСЯЖНЫЙ В. И.<sup>3</sup>

<sup>1</sup>*Національний технічний університет України «КПІ ім. Ігоря Сікорського»  
пров. Індустріальний, 2, Київ, 03056, Україна,  
e-mail: director@mitris.com*

<sup>2</sup>*Український антарктичний науковий центр  
бул. Тараса Шевченка, 16, Київ, 01601, Україна  
e-mail: uac@uac.gov.ua*

<sup>3</sup>*Національний центр управління та випробування космічних засобів  
вул. Московська, 8, Київ, 01010, Україна  
e-mail: ncuvkz@spacecenter.gov.ua*

**ANALYSIS OF THE POTENTIAL SERVICE AREA AND RADIO CHANNEL  
OF THE GROUND SATELLITE COMMUNICATION EQUIPMENT UNDER WORKING  
CONDITIONS OF THE ANTARCTIC STATION "ACADEMICIAN VERNADSKY"**

ILCHENKO M.<sup>1</sup>, KAPSHTIK S.<sup>1</sup>, NARYTNIK T.<sup>1</sup>, LITVINOV V.<sup>2</sup>, PRYSYAZHNYI V.<sup>2</sup>

*National Technical University of Ukraine "KPI n.a. Igor Sikorsky"  
Industrial lane, 2, Kiev, 03056, Ukraine  
E-mail: director@mitris.com*

*Ukrainian Antarctic Research Center  
Shevchenko Blvd, 16, Kyiv, 01601, Ukraine  
E-mail: uac@uac.gov.ua*

*Center for Control and Testing of Space Facilities  
Moscow st., 8, Kyiv, 01010, Ukraine  
e-mail: ncuvkz@spacecenter.gov.ua*

**Аннотация** Представлены проведённый, с учётом особенностей орбитального построения систем дистанционного зондирования Земли анализ потенциальной зоны обслуживания и описание построения радиоканала наземного оборудования спутниковой связи в условиях работы антарктической станции «Академик Вернадский», которые показали возможность обеспечения как качественного приёма и накопления информации дистанционного зондирования Земли, так и обеспечения оперативности доведения информации до центра обработки данных.

**Ключевые слова:** спутниковая связь, антарктическая станция, зона обслуживания, орбитальная построение, дистанционное зондирование Земли, центр обработки данных

**Анотація.** Представлено проведений з урахуванням особливостей орбітальної побудови систем дистанційного зондування Землі, аналіз потенційної зони обслуговування і опис побудови радіоканалу наземного обладнання супутникового зв'язку в умовах роботи антарктичної станції «Академік Вернадський», які показали можливість забезпечення як якісного приймання і накопичення інформації дистанційного зондування Землі, так і забезпечення оперативності доведення інформації до центру оброблення даних.

**Ключові слова:** супутниковий зв'язок, антарктична станція, зона обслуговування, орбітальна побудова, дистанційне зондування Землі, центр оброблення даних

**Abstract.** The analysis of potential service area and the description of construction of radio channel of terrestrial satellite communication equipment in the conditions of operation Antarctic station "Academician Vernadsky" are presented, taking into account the features of the orbital construction of Earth remote sensing systems, which showed the possibility of providing both high-quality reception and accumulation of Earth remote sensing information as well as ensuring the efficiency of bringing information to the data center.

**Keywords:** Satellite communications, Antarctic station, service area, orbital construction, remote Earth sensing, data processing center

## ВВЕДЕНИЕ

Изучение Земли, ее атмосферы, недр и природных ресурсов, изменений климата и прогнозирование потенциальных негативных последствий таких изменений является важнейшей задачей, от успешного решения которой зависит выживание человечества на планете Земля. Особая роль в этом процессе отводится космическим средствам дистанционного зондирования Земли (ДЗЗ). Ярким подтверждением тому является создание и наращивание орбитальной группировки европейской системы ДЗЗ «Коперник» [1], разработанной Европейским космическим агентством (ЕКА) по заказу Еврокомиссии [2].

Важное значение для успешной обработки данных ДЗЗ имеет оперативность приёма информации со спутника и ее доведение до центров обработки. Особенности орбитального построения космических систем ДЗЗ, которые преимущественно используют солнечно-синхронную орбиту (ССО) высотой 600–700 км и наклоном 98°, является короткое время сеанса связи наземной станции со спутником, которое составляет не более 12–14 мин. За это время спутник должен передать на наземную станцию накопленную полезную информацию и получить программу работы.

Для повышения оперативности доведения информации ДЗЗ ЕКА разрабатывает и возвращает Европейскую систему передачи данных (European Data Relay System) (EDRS) [3]. Система предполагает запуск на геостационарную орбиту как минимум трех спутников-ретрансляторов, которые в реальном масштабе времени будут принимать информацию от низкоорбитальных спутников ДЗЗ по оптическому (лазерному) межспутниковому каналу и передавать эту информацию на землю по радиоканалу в центр сбора и обработки информации. Однако, работать в такой системе смогут только спутники ДЗЗ, оборудованные оборудованием оптической межспутниковой связи.

## ОСОБЕННОСТЬ ОРБИТАЛЬНОГО ПОСТРОЕНИЯ СИСТЕМ ДИСТАНЦИОННОГО ЗОНДИРОВАНИЯ ЗЕМЛИ

Особенностью орбитального построения систем ДЗЗ, использующих ССО, является движение спутников от северного полюса к южному и в обратном направлении. На каждом витке трасса спутника проходит через приполярные и полярные области вблизи северного и южного полюсов Земли [4].

Размещение в приполярном районе наземной станции для приёма полезной информации и передачи команд управления позволяет существенно повысить оперативность приёма информации спутников ДЗЗ. Именно с этой целью первоначально на острове Шпицберген была создана норвежская станция Свалбард (Svalbard Satellite Station) [5]. Однако остаётся вопрос доведения принятой информации до центров обработки. В случае с норвежской стан-

цией эта задача решается с помощью специально построенной линии волоконно-оптической связи между островом Шпицберген и континентальной частью Норвегии на Скандинавском полуострове.

Кроме того, одна станция, расположенная в приполярном районе, не обеспечивает 100 % обслуживания всех витков спутников ДЗЗ. В силу геометрических соотношений значительная часть трасс спутников ДЗЗ проходят за пределами зоны обслуживания наземной станции. Эти витки обслуживаются другими наземными станциями [6].

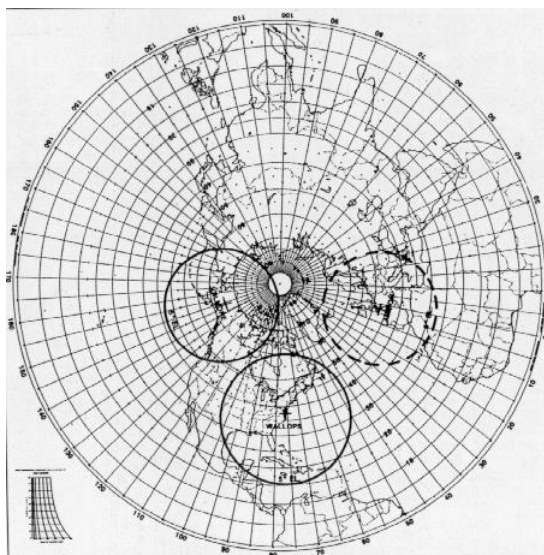


Рисунок 1 – Зоны обслуживания наземных станций приёма информации ДЗЗ в приполярных районах северного полушария

При рассмотрении вопроса передачи полезной информации со спутника ДЗЗ на наземную станцию приёма необходимо учитывать ещё один фактор – освещенность Солнцем соответствующего участка орбиты спутника. Солнечное излучение является основным источником электроэнергии для подавляющего числа космических аппаратов ДЗЗ на околоземной орбите. В отсутствие солнечного освещения, когда спутник находится в тени Земли, используются вторичные источники электроэнергии – бортовые аккумуляторы, мощность и емкость которых ограничены и снижаются (деградируют) с течением времени. В силу орбитального построения ССО, спутник примерно половину времени продолжительности одного витка находится на освещенном участке орбиты, а в течение второй половины – на затененном участке в тени Земли. На время движения по затененному участку большинство бортовых потребителей – систем спутника отключаются или переводятся в режим минимального потребления энергии. Все это в полной мере относится к полезной нагрузке спутника ДЗЗ – бортовому телескопу с системой сенсоров, и бортовым радиосредствам передачи полезной информации ДЗЗ – бортовому радиопередатчику. На затененном участке орбиты не производится съемка поверхности Земли и не накапливается информация в бортовом запоминающем устройстве спутника для ее последующей передачи на наземную станцию приёма.

В связи с наклоном оси вращения Земли относительно перпендикуляра к плоскости её орбиты вокруг Солнца на угол  $23,44^\circ$ , в приполярных районах, широта которых составляет более  $66,56^\circ$  соответственно северной или южной широты, возникают периоды, которые известны под названием «полярный день» или «полярная ночь». В период «полярной ночи» Солнце не выходит из-за горизонта в связи с тем, что ось вращения Земли в этот период отклоняется в сторону, противоположную направлению на Солнце, и естественная кривизна поверхности Земли закрывает направление на Солнце (см. рис.2).

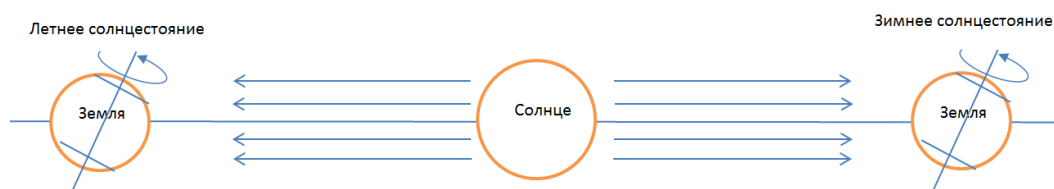


Рисунок 2 – Геометрические соотношения Земли и Солнца в период летнего и зимнего солнцестояния

В период полярной ночи существует серьезная проблема с накоплением достаточного заряда в аккумуляторах спутника для обеспечения полноценного сеанса передачи информации на наземную станцию при нахождении спутника на затененном участке витка орбиты или непосредственно после его прохождения.

Решением проблемы может быть размещение станций приёма информации ДЗЗ в Антарктиде.

### АНАЛИЗ ПОТЕНЦИАЛЬНОЙ ЗОНЫ ОБСЛУЖИВАНИЯ НАЗЕМНОЙ СТАНЦИИ СПУТНИКОВОЙ СВЯЗИ «АКАДЕМИК ВЕРНАДСКИЙ»

Изучение Антарктиды занимает особое место в истории мировой науки о Земле. Важным дополнением к знаниям, полученным с использованием научной аппаратуры антарктических научных станций, является информация спутников ДЗЗ. Понимая это, уже с середины 90-х годов ряд стран разместили на своих антарктических научных станциях оборудование для приёма информации со спутников ДЗЗ [7]. Однако, принимаемая информация использовалась локально, только в исследовательских программах, выполняемых на отдельно взятой станции. Полномасштабная обработка информации ДЗЗ, принятой на антарктической станции, была возможна только после завершения экспедиции и возвращения участников в свои научные центры и лаборатории и доставки туда результатов исследований. Причиной является критически низкая пропускная способность телекоммуникационной инфраструктуры, связывающей между собой антарктические станции внутри континента Антарктида, и антарктические станции с научными центрами на других континентах.

Украинская антарктическая станция «Академик Вернадский» ( $65,245678^\circ$  ю.ш.  $64,257825^\circ$  з.д.) расположена на острове Галиндез Аргентинского архипелага вблизи Антарктического полуострова [7]. Станция была основана в феврале 1996 года, когда Британская Антарктическая служба передала Украине антарктическую станцию «Фарадей».

На станции проводятся научные исследования, определенные Меморандумом о передаче станции «Фарадей» Украине, и исследования в соответствии с Государственной программой исследований Украины в Антарктиде. Климатические условия в районе размещения станции достаточно мягкие: климат морской, субантарктический. Средняя температура в районе станции в летний период составляет около  $0^\circ$ , а в зимний период обычно не опускается ниже «минус»  $19^\circ$ . Минимальное значение температуры, зарегистрированной на станции за весь период наблюдений, составляет «минус»  $47^\circ$ . Снижение температуры зимой происходит при приходе охлажденных масс воздуха с континентальной части Антарктиды. Характерными для зимнего периода являются сильные ветра, скорость которых составляет до 30–35 м/с. Приблизительно 300 дней в году на станции наблюдаются осадки в виде снега.

При выборе потенциального места размещения наземной станции приёма информации ДЗЗ важное значение имеет анализ потенциальной зоны обслуживания станции или зоны обзора наземной станции, т.е. зоны, в пределах которой обеспечивается прямая радиовидимость между спутником ДЗЗ и наземной станцией [8]. Размер зоны обслуживания наземной станции для приёма информации со спутников, находящихся на круговой орбите высотой  $h$ , определяется как геоцентрический угол  $\pm\varphi$ , построенный с учетом минимального угла места

$\beta_{min}$  (см. рис. 3). Размер зоны обслуживания определяется с использованием известной формулы [8]

$$\varphi = \arccos\left(\frac{R_e}{R_e + h} \cos \beta\right) - \beta, \quad (1)$$

где  $R_e$  – радиус Земли.

Расчет показывает, что для минимального значения угла места антенны наземной станции  $\beta = 5^\circ$  зона обслуживания для спутника, находящегося на орбите высотой 700 км, геоцентрический угол принимает значение  $\varphi = 21,15^\circ$  и зона обслуживания представляет окружность радиусом 2350 км, а для значения угла места  $\beta = 7^\circ$  соответственно  $\varphi = 19,57^\circ$  и радиус зоны обслуживания составляет 2178 км.

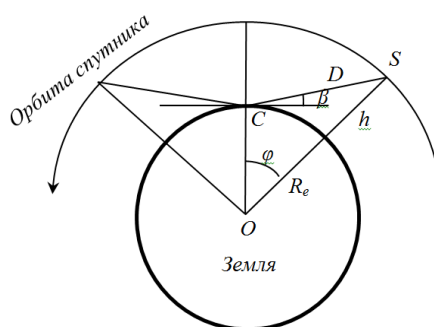


Рисунок 3 – К вопросу определения зоны обслуживания наземной станции приёма информации ДЗЗ

Для построения на карте зоны обслуживания наземной станции с известными координатами, заданным значением геоцентрического угла и радиусом зоны обслуживания по поверхности Земли, используем теорему синусов и теоремы косинусов сторон и косинусов углов для сферических треугольников. Как показано на рис.4, координаты наземной станции  $C$  заданы значением широты  $\gamma_c$  и долготы  $\lambda_c$ . Координаты точки  $P$ , находящейся на контуре окружности зоны обслуживания, построенной для заданного угла места  $\beta$  и соответствующего ему геоцентрического угла  $\varphi$ , определяются по заданному азимуту  $\alpha$  широтой точки  $\gamma$  и относительной долготой  $\Delta\lambda$  (отсчитывается от долготы наземной станции  $\lambda_c$ ). Для расчёта используем следующие выражения:

$$\gamma = 90^\circ - \arccos\left[\cos(90^\circ - \gamma_c) \cos \varphi + \sin(90^\circ - \gamma_c) \sin \varphi \cos \alpha\right] \quad (2)$$

$$\gamma = \arcsin\left[\frac{\sin \alpha}{\sin(90^\circ - \gamma)} \cdot \sin \varphi\right] \quad (3)$$

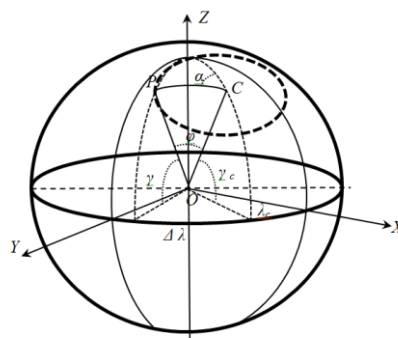


Рисунок 4 – К расчёту координат границ зоны обслуживания наземной станции.

Результаты расчета координат контрольных точек для построения контура зоны обслуживания наземной станции, при ее размещении на базе антарктической станции «Академик Вернадский», представлены в Таблице 1, а на рис.7 сплошной линией показана зона обслуживания наземной станции.

Таблица 1 – Координаты контрольных точек зоны обслуживания наземной станции приёма информации ДЗЗ при ее размещении на базе антарктической станции «Академик Вернадский» (широта: 65° 14' 44" ю.ш., долгота: 64° 15' 28" з.д.).

Точка	Широта, $\gamma$ (южная)	Долгота, $\lambda$ (западная)
1	86,402°	64,258°
2	83,158°	12,611°
3	77,898°	4,842°
4	72,507°	6,140°
5	67,290°	10,188°
6	62,373°	15,502°
7	57,872°	21,512°
8	53,875°	27,998°
9	50,468°	34,843°
10	45,728°	41,957°
11	45,720°	49,276°
12	44,495°	56,732°
13	44,052°	64,258°
14	44,495°	71,784°
15	45,720°	79,240°
16	45,728°	86,559°
17	50,468°	93,673°
18	53,875°	100,518°
19	57,872°	107,004°
20	62,373°	113,014°
21	67,290°	118,328°
22	72,507°	122,376°
23	77,898°	123,670°
24	83,158°	115,905°

Приведённый на рис. 5 контур зоны обслуживания наземной станции приёма информации ДЗЗ для ее размещения на антарктической станции «Академик Вернадский» не учитывает особенностей рельефа местности в точке размещения антенны. После выбора конкретного места установки антенны в контур зоны обслуживания будут внесены изменения, которые учтут особенности рельефа местности и наличие местных предметов, угол затенения которых превышает 7°.

На рис.6 представлен пример схемы трасс суточных орбит спутника ДЗЗ, который находится на круговой ССО с высотой около 700 км и наклоном 98°. Сплошной кривой в левой части рисунка показана зона обслуживания наземной станции приёма информации ДЗЗ при ее размещении на антарктической станции «Академик Вернадский». Как видно из рисунка, размещение наземной станции приёма в приполярных широтах позволяет увеличить количество сеансов приёма информации до 6–7 в течение суток (витки номер 8–13) для

приёма информации, находящейся в бортовой памяти спутника, а также обеспечить приём информации при непосредственной съёмке на витках 6–11.

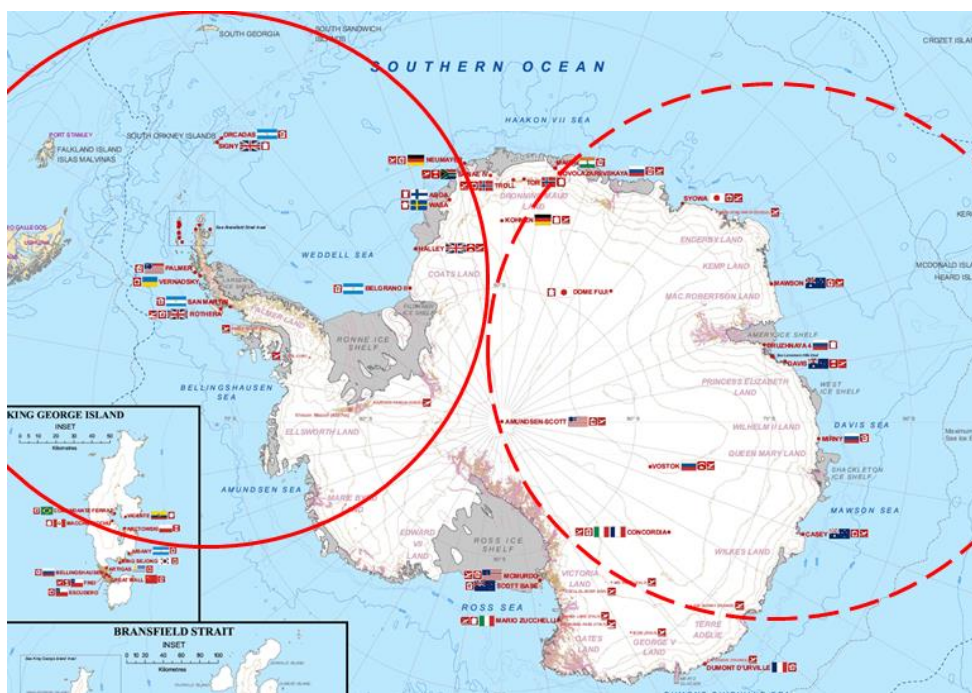


Рисунок 5 – Потенциальная зона обслуживания наземной станции приёма информации ДЗЗ на базе антарктической станции «Академик Вернадский» и зоны обслуживания наземной станции приёма информации ДЗЗ, расположенной в индийской антарктической станции Бхарати

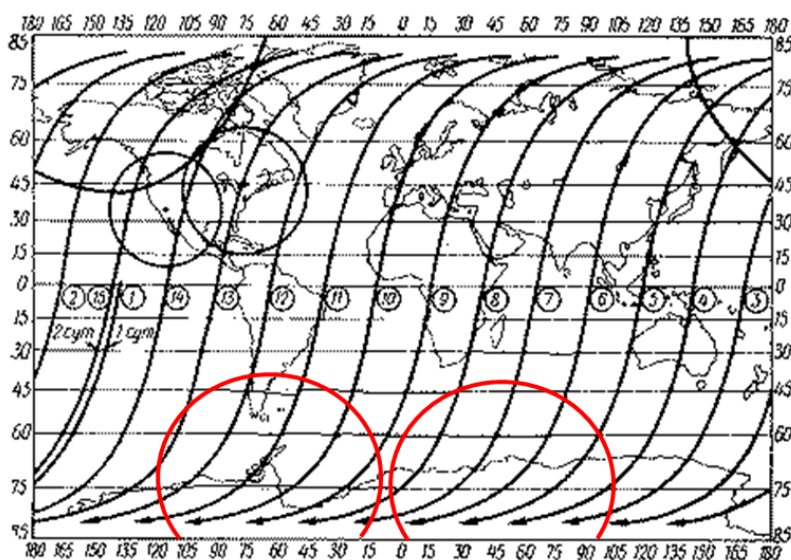


Рисунок 6 – Пример разделения сеансов связи между двумя наземными станциями приёма информации на различных суточных витках спутника ДЗЗ на ССО

**СТРУКТУРА И ХАРАКТЕРИСТИКИ РАДИОКАНАЛА НАЗЕМНОГО ОБОРУДОВАНИЯ СПУТНИКОВОЙ СВЯЗИ В УСЛОВИЯХ РАБОТЫ АНТАРКТИЧЕСКОЙ СТАНЦИИ «АКАДЕМИК ВЕРНАДСКИЙ»**

Для обеспечения приёма информации со спутников ДЗЗ наземная станция должна быть оснащена необходимым высокочастотным и цифровым оборудованием. Процедура приёма и обработки информации ДЗЗ на наземной станции приёма включает следующие этапы:

- наведение антенны наземной станции на спутник и сопровождение спутника в течение сеанса связи;
- приём высокочастотного сигнала со спутника, его усиление, демодуляция, восстановление битовой и кадровой синхронизации и формирование выходного потока первичных данных;
- обработка первичных данных и их архивирование.

Типовой состав оборудования наземной станции приёма информации ДЗЗ, обеспечивающий выполнение перечисленных функций, приведён на рис. 7. Станция включает: полноповоротную двухдиапазонную антенну (диапазоны S и X), высокочастотный тракт и тракт промежуточной частоты, цифровую часть для обработки и архивирования данных и систему управления антенной. Для работы всей станции в целом необходима система энергоснабжения.

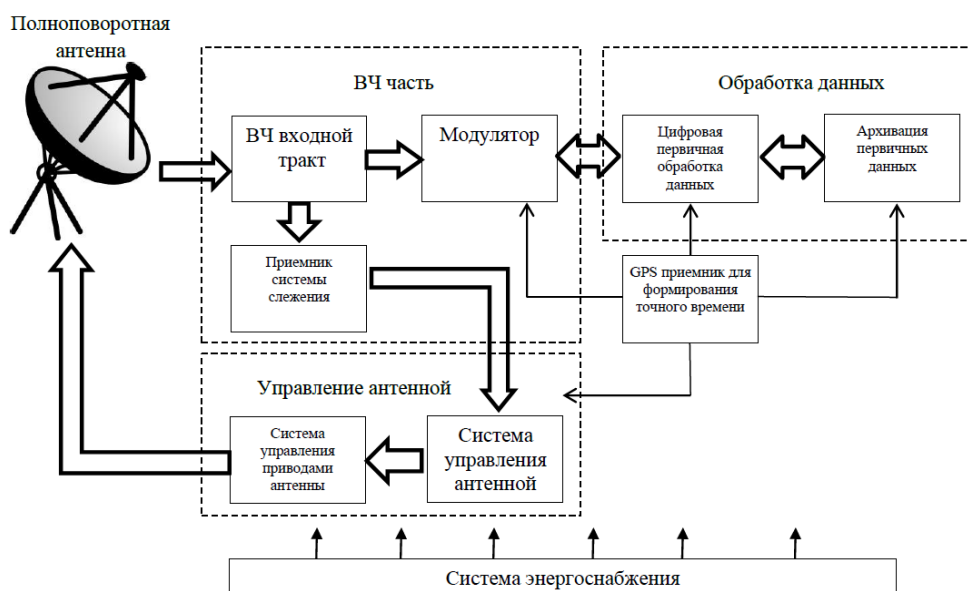


Рисунок 7 – Типовой состав оборудования наземной станции приёма информации ДЗЗ

Основным и наиболее дорогостоящим элементом основного оборудования наземной станции приёма информации ДЗЗ является полноповоротная антенна. Как правило, для приёма информации со спутников ДЗЗ применяются двухдиапазонные антенны, которые обеспечивают приём информации ДЗЗ в диапазоне X, приём телеметрической информации и передачу командной информации в диапазоне S. Система подвеса антенны должна обеспечивать ее ориентацию и движение во всех направлениях по азимуту ( $\pm 180^\circ$ ) и углу места ( $0 \dots 90^\circ$ ). Первичная ориентация антенны производится по данным баллистических расчетов и обеспечивает «захват» спутника в точке ожидания. После захвата спутника его сопровождение обеспечивается с помощью системы автоматического сопровождения, как правило, моноимпульсного типа, либо программным сопровождением по данным баллистических расчетов. Ручное сопровождение считается резервным вариантом и применяется в аварийном режиме.

Учитывая метеорологические особенности места размещения станции «Академик Вернадский», при рассмотрении вопроса о выборе варианта конструкции и установки антенны



для приёма информации ДЗЗ целесообразно изучить вопрос применения радиопрозрачного укрытия, которое позволит существенно сократить потери в качестве приёма сигнала от спутника, связанные с налипанием снега на элементы антенны, в первую очередь на рефлектор и облучатель, и снизить ветровую нагрузку на антенну.

Представленный на рис. 7 состав оборудования наземной станции обеспечивает в результате приём и накопление информации ДЗЗ. Тем не менее, как ранее уже отмечалось, особый интерес представляет оперативная передача принятой информации в центр обработки данных. На рис. 8 приведена типовая схема приёма, обработки, архивирования, хранения и распространения информации ДЗЗ [9]. Как показано на рисунке, полномасштабная система сбора, обработки и распространения информации ДЗЗ предполагает сбор информации, принимаемой от спутников ДЗЗ на сеть наземных станций приёма, по специальной сети передачи данных. По этой сети принятая на наземных станциях информация поступает в систему обработки данных, которая, как правило, расположена на средства оператора системы ДЗЗ. Далее информация с различным уровнем обработки поступает через сеть распределения данных конечным потребителям. Параллельно по сети передачи данных передаётся телеметрическая и командная информация, необходимые для управления спутниками ДЗЗ в полете.

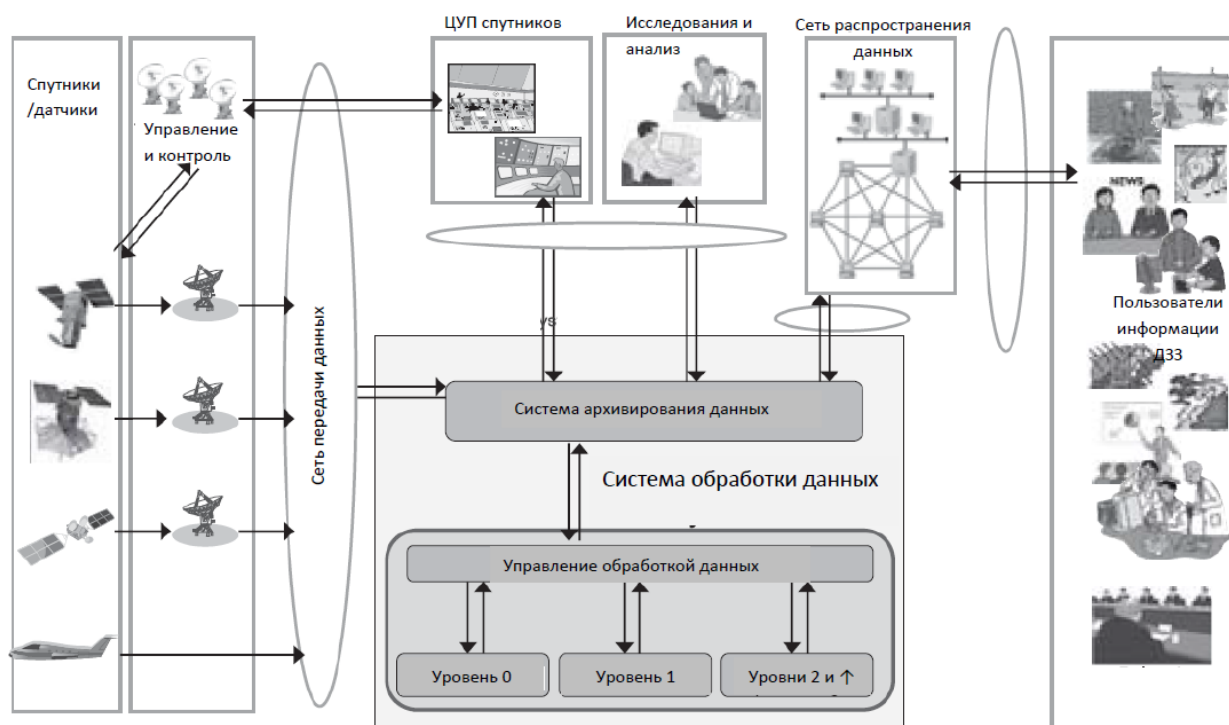


Рисунок 8 – Типовая архитектура системы сбора, обработки и распространения данных ДЗЗ

Как видно из рис. 8, ключевым фактором в обеспечении оперативности доведения информации ДЗЗ до центра обработки данных является радиоканал связи, входящий в систему передачи данных. К преимуществам географического расположения станции «Академик Вернадский» можно отнести размещение станции севернее Южного Полярного Круга, что позволяет достаточно эффективно решить задачу обеспечения телекоммуникационной привязки станции к мировой телекоммуникационной сети с использованием ресурса геостационарных спутников связи. Условие видимости спутника на геостационарной орбите в орбитальной позиции с долготой  $\lambda_s$  с земной станции с координатами широта  $\gamma$  и долгота  $\lambda_c$  определяется неравенством

$$\cos \gamma_c \cos(\lambda_c - \lambda_s) \geq \frac{R_e}{R_s} = 0,15, \quad (4)$$

где  $R_e$  – радиус Земли,  $R_e = 6371$  км;  $R_s$  – радиус геостационарной орбиты,  $R_s = 42165$  км.

Если предположить, что долгота спутника на геостационарной орбите соответствует долготе наземной станции, то для антарктической станции «Академик Вернадский» показатель данного критерия составляет 0,4343 и условие (4) выполняется.

Для определения сектора дуги геостационарной орбиты, видимого с антарктической станции «Академик Вернадский», воспользуемся известными геометрическими соотношениями в геоцентрической и спутниковой системах координат (см. рис.9) [10, 11].

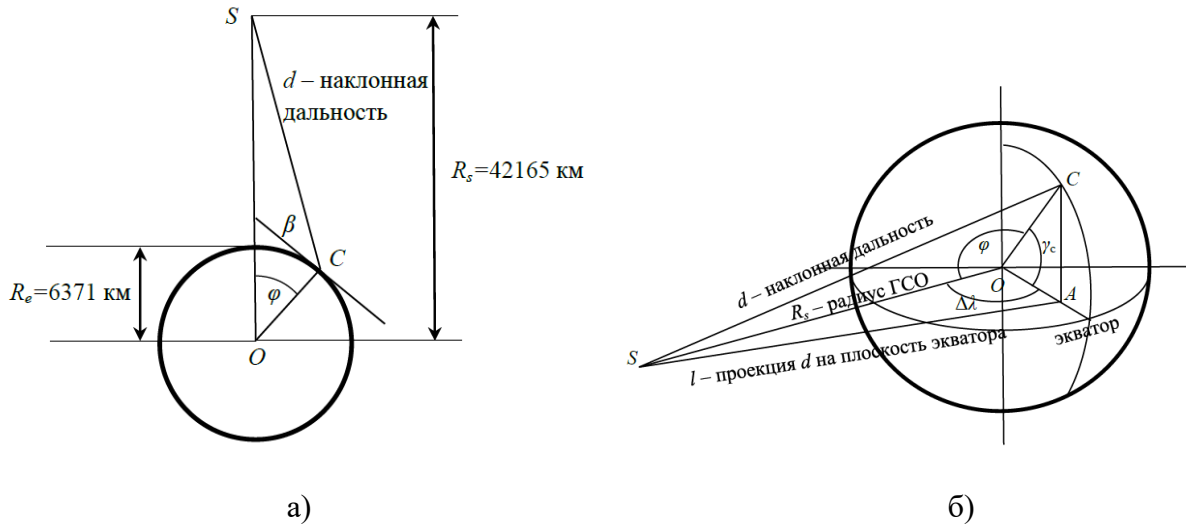


Рисунок 9 – К вопросу определения сектора дуги геостационарной орбиты, видимого с антарктической станции «Академик Вернадский».

Как видно из рис.9а, геоцентрический угол  $\varphi$  зависит от величины угла места  $\beta$  и связан с ним выражением (1), которое с учётом обозначений на рис. 10а принимает вид:

$$\varphi = \arccos\left(\frac{R_e}{R_s} \cos \beta\right) - \beta. \quad (5)$$

С другой стороны, в спутниковой системе координат величина угла  $\varphi$  определяется выражением, которое связывает его с широтой земной станции и относительной долготой земной станции относительно подспутниковой точки [11]:

$$\cos \varphi = \cos(\Delta\lambda) \cos \gamma_c. \quad (6)$$

На основе выражения (6) с учетом выражения (5) получаем выражение для определения границ видимой с земной станции части дуги геостационарной орбиты относительно долготы земной станции

$$\Delta\lambda = \arccos\left[\frac{\cos\left(\arccos\left(\frac{R_e}{R_s} \cdot \cos \beta\right) - \beta\right)}{\cos \gamma_c}\right]. \quad (7)$$

С учётом величины отношения радиуса Земли к радиусу геостационарной орбиты  $\frac{R_e}{R_s} = 0,151$ , выражение (7) может быть преобразовано к виду:

$$\Delta\lambda = \arccos \left[ \frac{\cos(\arccos(0,151 \cdot \cos \beta) - \beta)}{\cos \gamma_c} \right], \quad (8)$$

Наклонная дальность от наземной станции  $C$  до спутника  $S$  определяется в соответствии с теоремой синусов для треугольников [10]:

$$d = \frac{R_s}{\sin(90^\circ + \beta)} \cdot \sin \varphi = \frac{R_s}{\cos \beta} \cdot \sin \varphi. \quad (9)$$

Для антарктической станции «Академик Вернадский» (координаты:  $65,242^\circ$  ю.ш.,  $64,458^\circ$  з.д.) видимая часть дуги геостационарной орбиты составляет:

- для минимального угла места  $5^\circ$ :  
8,6°W – 119,9°W.
- для минимального угла места  $7^\circ$ :  
14,3°W – 114,2°W.

Приведённые результаты совпадают с теоретическими графиками для быстрой оценки видимого сектора дуги геостационарной орбиты.

### «Видимая» дуга геостационарной орбиты

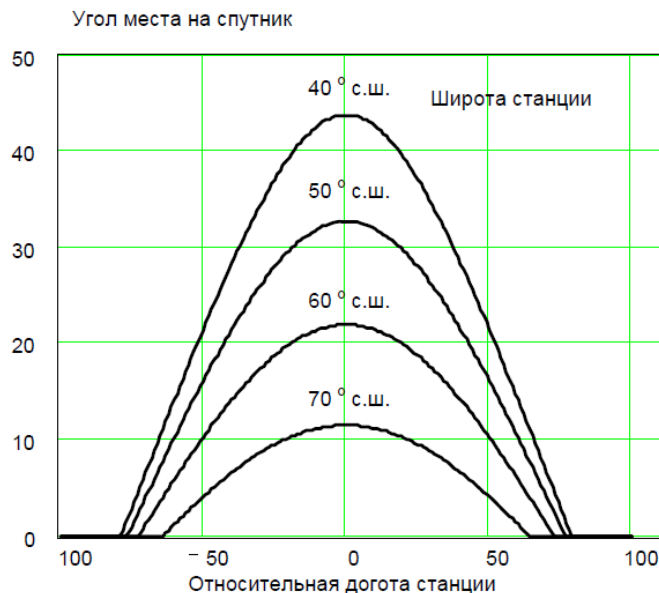


Рисунок 10 – Теоретические графики видимого сектора дуги геостационарной орбиты.

Для организации спутниковой связи со станцией «Академик Вернадский» могут быть использованы следующие спутники Экспресс-AM44 ,AM8; Intelsat-901, 905, 903, 907; Intelsat-701; NSS-7,806; SES-4,6; Intelsat-9,11,14,1R, находящиеся в видимом секторе дуги геостационарной орбиты и имеющие соответствующие зоны обслуживания.

Расчёт дальности и угла места для видимой со станции Вернадский группировки КА системы Intelsat проведен по следующим формулам:

– дальность радиолинии  $R$

$$R = \sqrt{R_e^2 + r^2 - 2R_e r \cos L \cos l},$$

где

$R_e$  – экваториальный радиус Земли,  $R_e = 6378$  км;

$r$  – радиус геостационарной орбиты,  $r = 42164$  км;

$L$  – относительная долгота орбитальной позиции спутника и долготы станции Вернадский;

$l$  – широта станции Вернадский,  $l = 65^\circ 14' 44'' = 65,242^\circ$ .

Угол места для наблюдения спутника со станции Вернадский:

$$E = \arccos \left[ \frac{r}{R} \sin \phi \right],$$

где  $\phi$  – центральный угол между направлением на станцию Вернадский и направлением на подспутниковую точку спутника;

$$\sin \phi = \sqrt{1 - \cos^2 \phi};$$

$$\cos \phi = \cos L \cos \varphi \cos l + \sin \varphi \sin l,$$

где  $\varphi$  – широта подспутниковой точки. Для геостационарной орбиты  $\varphi = 0$ .

Следовательно,

$$\cos \varphi = 1; \quad \sin \varphi = 0; \quad \cos \phi = \cos L \cos l.$$

Результаты расчёта приведены в табл. 2.

Таблица 2 – Результаты расчёта

Спутник	Позиция	$L$	Дальность радиолинии, км.	Угол места, град.
Intelsat-9, 11	43°W	-21,258°	40 106,9	14,55°
Intelsat-14	45°W	-19,258°	40 073,0	14,88°
Intelsat-1R	50°W	-14,258°	40 002,2	15,57°
Intelsat-23	53°W	-11,258°	39 969,7	15,89°
Intelsat-34	55°W	-9,258°	39 952,1	16,06°
Intelsat-21	58°W	-6,258°	39 932,2	16,25°
Galaxy-28	89°W	-24,742°	40 173,6	13,91°
Intelsat-30	95°W	30,742°	40 309,9	12,61°

## ВЫВОДЫ

Проведённый с учётом особенностей орбитального построения систем дистанционного зондирования Земли анализ потенциальной зоны обслуживания и радиоканала наземного оборудования спутниковой связи в условиях работы антарктической станции «Академик Вернадский» показал возможность обеспечения как качественного приёма и накопления информации дистанционного зондирования Земли, так и обеспечения оперативности доведения информации до центра обработки данных.

## СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Orbiting in sunshine, Paris (ESA) Mar 13, 2017 [http://www.spacedaily.com/reports/Orbiting\\_in\\_sunshine\\_999.html](http://www.spacedaily.com/reports/Orbiting_in_sunshine_999.html)
2. Copernicus Programme. [https://en.wikipedia.org/wiki/Copernicus\\_Programme](https://en.wikipedia.org/wiki/Copernicus_Programme)
3. SpaceDataHighway to add third node for global coverage. March 15, 2017. <http://spacenews.com/spacedatahighway-to-add-third-node-for-global-coverage/>
4. Earth Observations from Space. The First 50 Years of Scientific Achievements. Report in Brief. The National Academy of Sciences, 2007.
5. Svalbard Satellite Station. From Wikipedia, the free encyclopedia. [https://en.wikipedia.org/wiki/Svalbard\\_Satellite\\_Station](https://en.wikipedia.org/wiki/Svalbard_Satellite_Station)
6. The Alaska Satellite Facility Ground Station, Scott Arko, Annette La Belle-Hamer, Kevin McCarthy, Bruce Thoman, Rob Tye. [https://media.asf.alaska.edu/uploads/pdf/space\\_ops\\_paper\\_nettye\\_scott.pdf](https://media.asf.alaska.edu/uploads/pdf/space_ops_paper_nettye_scott.pdf)
7. Академик Вернадский (антарктическая станция), [https://ru.wikipedia.org/w/index.php?title=Академик\\_Вернадский\\_\(антарктическая\\_станция\)&oldid=72390224](https://ru.wikipedia.org/w/index.php?title=Академик_Вернадский_(антарктическая_станция)&oldid=72390224)
8. Чернов А.А., Чернявский Г.М. Орбиты спутников дистанционного зондирования Земли. Лекции и упражнения. – М.: Радио и связь, 2004. – 200 с.
9. Data Processing System for Advance of Earth Observation Data. Okomoto Hiroshi, Kasai Yumi, Nagao Masaru. NEC TECHNICAL JOURNAL. Vol. 6. No.1/2011 – P. 81–85.
10. Беспроводные линии связи и сети.: Пер. с англ. – М.: Издательский дом «Вильямс», 2003. – 640 с.
11. Спутниковая связь и вещание: Справочник. – 3-е изд., перераб. и доп./под ред. Л.Я. Кантора. – М.: Радио и связь, 1997. – 528 с.
12. Ground Systems Supporting Satellite Operations. Yoshikawa Shirou. NEC TECHNICAL JOURNAL. Vol.6. No.1/2011-p.76-80.

#### REFERENCES

1. Orbiting in sunshine, Paris (ESA) Mar 13, 2017 [http://www.spacedaily.com/reports/Orbiting\\_in\\_sunshine\\_999.html](http://www.spacedaily.com/reports/Orbiting_in_sunshine_999.html)
2. Copernicus Programme. [https://en.wikipedia.org/wiki/Copernicus\\_Programme](https://en.wikipedia.org/wiki/Copernicus_Programme)
3. SpaceDataHighway to add third node for global coverage. March 15, 2017. <http://spacenews.com/spacedatahighway-to-add-third-node-for-global-coverage/>
4. Earth Observations from Space. The First 50 Years of Scientific Achievements. Report in Brief. The National Academy of Sciences, 2007.
5. Svalbard Satellite Station. From Wikipedia, the free encyclopedia. [https://en.wikipedia.org/wiki/Svalbard\\_Satellite\\_Station](https://en.wikipedia.org/wiki/Svalbard_Satellite_Station)
6. The Alaska Satellite Facility Ground Station, Scott Arko, Annette La Belle-Hamer, Kevin McCarthy, Bruce Thoman, Rob Tye. [https://media.asf.alaska.edu/uploads/pdf/space\\_ops\\_paper\\_nettye\\_scott.pdf](https://media.asf.alaska.edu/uploads/pdf/space_ops_paper_nettye_scott.pdf)
7. Akademyk Vernadskyy (antarktycheskaya stantsyya), [https://ru.wikipedia.org/w/index.php?title=Akademyk\\_Vernadskyy\\_\(antarktycheskaya\\_stantsyya\)&oldid=72390224](https://ru.wikipedia.org/w/index.php?title=Akademyk_Vernadskyy_(antarktycheskaya_stantsyya)&oldid=72390224)
8. Chernov A.A., Chernyavskyy H.M. Orbyty sputnykov dystantsyonnoho zondirovaniya Zemly. Lektsyy y uprazhnenyya. – М.: Radyo y svyaz', 2004. – 200s.
9. Data Processing System for Advance of Earth Observation Data. Okomoto Hiroshi, Kasai Yumi, Nagao Masaru. NEC TECHNICAL JOURNAL. Vol.6. No.1/2011-p.81-85.
10. Besprovodnye lynny svyazy y sety.: Per. s anhl. – М.: Yzdatel'skyy dom «Vyl'yams», 2003. – 640s.
11. Sputnikovaya svyaz' y veshchanye: Spravochnyk. – 3-e yzd., pererab. y dop./pod red. L.Ya. Kantora. – М.: Radyo y svyaz', 1997. – 528 s.
12. Ground Systems Supporting Satellite Operations. Yoshikawa Shirou. NEC TECHNICAL JOURNAL. Vol. 6. No.1/2011 – P. 76–80.