

Н.Б.Богуспаев<sup>1</sup>, А.С.Раскалиев<sup>2</sup>, Ш.М. Кобдикова<sup>3</sup>,  
А.И.Самсоненко<sup>2</sup>, С.Ж. Жұмағали<sup>2</sup>

<sup>1</sup>ТОО «Алматинский Институт Технологий», Алматы, Казахстан

<sup>2</sup>ДТОО «Институт космической техники и технологии», Алматы, Казахстан

<sup>3</sup>НАО «Национальная академия наук Республики Казахстан», Алматы, Казахстан

E-mail: nurlanbsv@mail.ru

## РАЗРАБОТКА ВЫЧИСЛИТЕЛЬНОЙ СХЕМЫ ОПРЕДЕЛЕНИЯ КООРДИНАТ ВОЗДУШНОГО ОБЪЕКТА ПО ОТРАЖЕННОМУ ОТ ВОЗДУШНОГО ОБЪЕКТА И ПРИНЯТОМУ НА АНТЕННУ НАВИГАЦИОННОГО ПРИЕМНИКА РАДИОСИГНАЛОВ ГНСС

**Аннотация.** Данная статья посвящена разработке математической модели приемной аппаратуры сигналов ГНСС, разработке математической модели определения координат видимых навигационных спутников по информации, полученной из принятого навигационного радиосигнала, разработке математической модели оценки энергии отраженного от воздушного объекта и принятого на антенну навигационного приемника радиосигнала ГНСС.

**Ключевые слова.** ГНСС, НАП, навигационный радиосигнал, ЭПР, наземный приемник, спутник.

### Введение.

Основные достоинства и недостатки систем пассивной и полуактивной радиолокации связаны с отсутствием в ее составе собственного передатчика. Из достоинств необходимо отметить меньшую стоимость производства, размещения и эксплуатации, отсутствие необходимости выделения частоты, отсутствие вредного воздействия на окружающую среду и помех другим радиотехническим устройствам, имеется возможность формирования произвольной зоны наблюдения за счет широкой (как правило) сети достаточно мощных передатчиков подсвета и оптимального выбора местоположения пунктов приема.

Среди недостатков следует отметить, что такая система радиолокации – технологически сложный метод, требующий использования особого оборудования и высокоэффективных алгоритмов обработки. Кроме того, отсутствует контроль за передатчиком: его местоположение, тип сигнала, режим работы не зависят от РЛС и их нельзя как-то настраивать в интересах локационной станции. Тем не менее, совокупность преимуществ, особенно проявившихся в связи с широким распространением ТВ-сигналов, радиовещательных станций, глобальных систем спутниковой навигации и др., обусловила значительный интерес к использованию пассивной и полуактивной технологии для решения радиолокационных задач [1].

Основной целью навигационной задачи является определение пространственно-временных координат потребителя, а также составляющих его скорости, поэтому в результате решения навигационной задачи должен быть определен расширенный вектор состояния потребителя  $X$ , который в инерциальной системе координат можно представить в виде формулы (1.1):

$$X = [x \quad y \quad z \quad V_x \quad V_y \quad V_z \quad B \quad F]^T, \quad (1.1)$$

где  $x$   $y$   $z$   $V_x$   $V_y$   $V_z$  – координаты положения и скорости потребителя;  
 $B$  – уход часов приемника (шкалы времени) потребителя относительно системной шкалы времени;

$F$  – скорость ухода часов приемника (шкалы времени) потребителя относительно системной шкалы времени.

Для решения задачи радиолокации воздушных объектов с использованием бистатической локации на основе использования спутников ГНСС, необходимо предварительно оценить энергию или энергетический потенциал спутникового навигационного сигнала, отраженного от воздушного объекта, который затем приходит на приемную антенну навигационной аппаратуры потребителей.

### Материалы и методы.

За основу построения математических моделей оценки энергетического потенциала отраженных навигационных радиосигналов ГНСС берутся результаты исследований, в которой дается оценка энергетического потенциала «полезного» сигнала и возможность его регистрации современными и перспективными приемниками радиосигналов ГНСС [2].

По вопросу оценки энергии отраженного от воздушного объекта и принятого на антенну навигационного приемника радиосигналов ГНСС, определения координат воздушного объекта по отраженному от воздушного объекта и принятому на антенну навигационного приемника радиосигналов ГНСС были рассмотрены статьи Ivanov V.I., Grajcar M., Novikov I.L., Vostretsov A.G., Il'ichev E.V. A microwave cryogenic low-noise amplifier based on SiGe heterostructure. Technical Physics Letters, 2016, pp. 380–383, Козлов И.Н., Вострецов А.Г., «О возможности использования спутниковых навигационных систем в качестве сигналов подсвета в пассивных радиолокационных станциях», Доклады АН ВШ РФ, Технические науки, апрель-июнь 2019 год.

Результаты литературного обзора показали, что определение координат воздушного объекта по отраженному от воздушного объекта совершенно недостаточно разработаны и весьма слабо освещаются, в том числе и в научной литературе. Предлагаемые методы главным образом направлены либо на оценку координат воздушной цели, либо на использование спутниковых навигационных систем в качестве сигналов подсвета в радиолокационных станциях. В связи с этим предложена новая технология с приемом и обработкой переотраженных от воздушной цели или объекта спутниковых радионавигационных сигналов ГНСС. Научная новизна заключается в том, что по нашим формулам можно рассчитать оценку энергии отраженного от воздушного объекта и принятого на антенну навигационного приемника радиосигналов ГНСС.

Данная научно-исследовательская работа имеет существенную особенность, связанную с приемом и обработкой переотраженных от воздушной цели или объекта спутниковых радионавигационных сигналов ГНСС. Для этого необходимо разработать вычислительные схемы решения задачи оценки энергии отраженного от воздушного объекта навигационного сигнала, определения координат воздушного объекта, разработать программные модули для имитационных моделей оценки энергии отраженного от воздушного объекта навигационного сигнала и определения координат воздушного объекта.

Пусть в зоне радиовидимости приемника навигационной аппаратуры потребителя, размещенного на поверхности Земли в точке с достоверно известными геоцентрическими координатами  $(X_0, Y_0, Z_0)$ , находятся  $N$  навигационных спутников (НС). В пределах непрерывного электромагнитного поля, создаваемого сигналами, излученными НС, находится воздушная цель с координатами  $(X_{ц}, Y_{ц}, Z_{ц})$  в соответствии с рисунком 1.1.

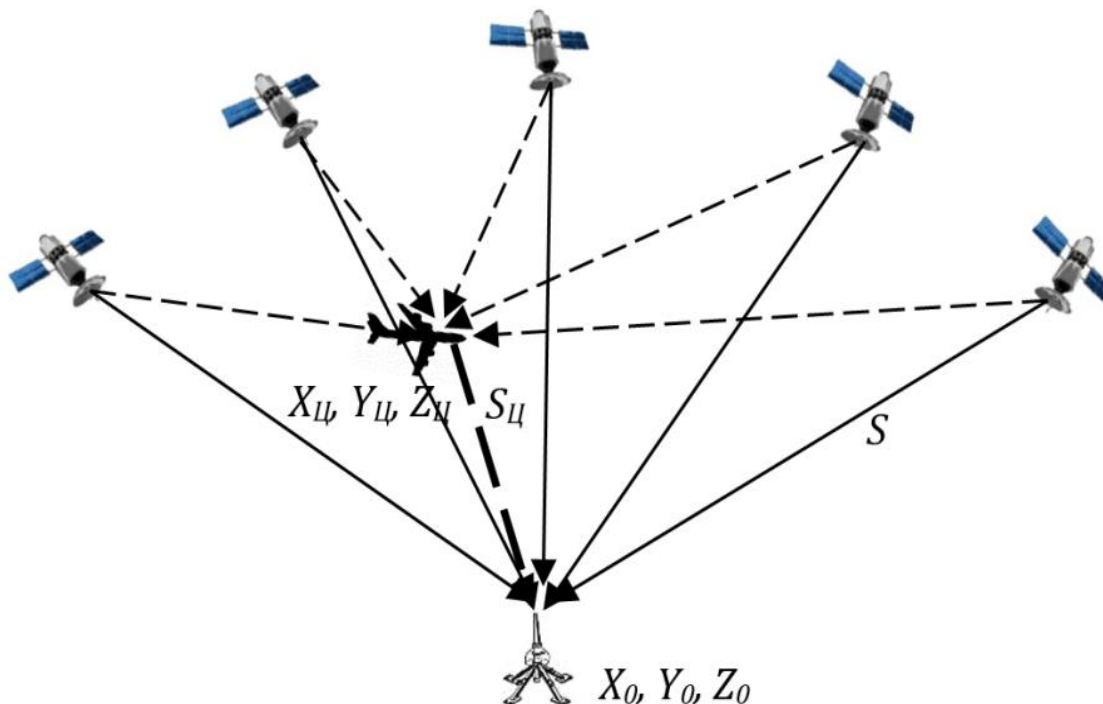


Рисунок 1.1 – Постановка задачи определения координат воздушной цели по радиосигналам ГНСС

За счет многолучевого распространения, сигналы НС, рассеянные воздушной целью  $S_{ц}$ , поступают на вход приемника НАП наряду с навигационными сигналами прямого распространения  $S$ .

Входная реализация приемника будет представлять собой аддитивную смесь сигналов прямого распространения, сигналов, отраженных от цели, и шумовой помехи  $n(t)$  согласно формуле (1.1):

$$Y(t) = S(t, \mathcal{L}(\Pi(t), t)) + S_{ц}(t, \mathcal{L}_{ц}(\mathcal{C}(t), t)) + n(t), \quad (1.1)$$

где,  $\mathcal{L}(t)$  – вектор параметров сигнала прямого распространения;

$\Pi(t)$  – вектор состояния потребителя;

$\mathcal{L}_{ц}(t)$  – вектор параметров сигнала, отраженного от цели;

$\mathcal{C}(t)$  – вектор состояния цели.

Сигнальная функция прямого распространения состоит из непрерывных сигналов отдельных спутников:

$$S(t, \mathcal{L}(\Pi(t), t)) = \sum_{j=1}^N S_j(t, \mathcal{L}_j(\Pi(t), t)), \quad (1.2)$$

где  $j$  – номер спутника.

В свою очередь сигнальная функция цели будет состоять из тех же непрерывных сигналов спутников, рассеянных целью, согласно формуле (1.1):

$$S_{ц}(t, \mathcal{L}_{ц}(\mathcal{C}(t), t)) = \sum_{j=1}^N S_{ц,j}(t, \mathcal{L}_{ц,j}(\mathcal{C}(t), t)). \quad (1.3)$$

В ходе исследований необходимо синтезировать алгоритм обработки сигналов навигационных спутников (НС) в приемнике НАП, позволяющий обнаружить полезный сигнал, рассеянный целью, оценить вектор его параметров  $\lambda_u$ , что, в свою очередь, позволит оценить вектор состояния  $U(t)$  воздушной цели. При этом необходимо минимизировать аппаратные доработки штатного приемника НАП СРНС, позволяющие реализовать такой алгоритм [3].

Навигационный сигнал СРНС стандартной точности представляет собой фазокодоманипулированный на  $\pi$  сигнал, в котором модулирующая последовательность образуется в результате сложения по модулю 2 двух последовательностей: дальномерного кода  $G_{ДК}$  и кода навигационного сообщения  $G_{НС}$ . Поскольку в СРНС радионавигационными параметрами являются задержка сигнала и доплеровское смещение частоты, то выражение для сигнала  $j$ -го НС, рассеянного целью, можно представить в виде формулы (1.4):

$$S_{ц,j}(t) = A_{ц,j} G_{ДК}(t - \Phi_{ц,j}(t)) G_{НС}(t - \Phi_{ц,j}(t)) \times \cos(\omega_{0,j}t + 2\pi f_{d,j}t + \phi_{0ц,j}) \quad (1.4)$$

где,  $A_{ц,j}$  – амплитуда;

$\tau_{ц,j}$  – задержка;

$f_{d,j}$  – доплеровское смещение частоты;

$\phi_{0ц,j}$  – начальная фаза сигнала  $j$  НС, рассеянного целью.

Алгоритм поиска сигнала стандартной точности одного НИСЗ будет рассмотрен на интервале одного бита передаваемого навигационного сообщения, т.е. где  $G_{НС}$  можно считать постоянной и из анализа исключить. Тогда входную реализацию одного канала приемника можно записать в виде формулы (1.5):

$$Y(t) = S(t, \Phi, f_d, \phi_0) + S_{ц}(t, \Phi, f_{дц}, \phi_0) + n(t) = AG_{ДК}(t - \Phi) \cos(\omega_0 t + 2\pi f_d t + \phi_0) + A_{ц} G_{ДК}(t - \Phi_{ц}) \cos(\omega_{0ц} t + 2\pi f_{дц} t + \phi_{0ц}) + n(t), \quad (1.5)$$

где  $A, \tau, f_d, \phi_0$  – амплитуда, задержка, частота Доплера и начальная фаза навигационного сигнала прямого распространения.

В поставленной задаче необходимо оценить  $\tau_{ц}$  и  $f_{дц}$ , при этом значение  $\phi_{0ц}$  можно считать неинформативным параметром.

Из теории оптимального оценивания следует, что максимум информации о случайных параметрах сигнала содержится в апостериорной плотности вероятности, выражение для которой может быть представлено в виде формулы (1.6):

$$p(\Phi_{ц}, f_{дц} / Y_{t_0}^{t_0+T}) = \text{ср}_{\text{ар}}(\Phi_{ц}) p_{\text{ар}}(f_{дц}) I \left[ \frac{4E_{ц}}{N_0} X(T) \right], \quad (1.6)$$

где,  $Y_{t_0}^{t_0+T} = y(t), t \in [t_0, t_0 + T]$  – входная реализация на интервале наблюдения;

$p_{\text{ар}}(\Phi_{ц}), p_{\text{ар}}(f_{дц})$  – априорные плотности вероятности распределения задержки и доплеровской частоты сигнала, рассеянного целью;

$E_{ц}$  – энергия принятого сигнала, рассеянного целью;

$X(T)$  – огибающая сигнала на выходе коррелятора.

На практике для решения задачи координатно-временного обеспечения в обычном навигационном приемнике при определении оценок задержки и доплеровского смещения частоты навигационного сигнала вся область поиска по задержке  $\Delta\tau$  и по частоте  $\Delta f$  разбивается на дискретные интервалы, и для каждой точки двухмерной области определяется значение  $X(T, \tau_i, f_{dj})$ . При этом значения  $\tau_i$ , где  $i=1, N_\tau$  и  $f_{dj}/V$ , где  $j=1, N_f$ , которые соответствуют максимуму  $X(T, \tau_i, f_{dj})$   $X(T, m, f_d)$ , считаются оценками  $\tau$  и  $f_d$  сигнала прямого распространения [4].

В рассмотренной задаче входная реализация  $y(t)$  наряду со слабым «полезным» сигналом, рассеянным целью  $S_y(t, \tau, f_{dy}, \varphi_{0y})$ , содержит в себе более мощный сигнал прямого распространения  $S(t, \tau, f_d, \varphi_0)$ , который можно рассматривать как коррелированную помеху.

Уровень огибающей сигнала на выходе коррелятора определяется амплитудой принимаемого сигнала  $A$ , а также отклонением значения задержки  $\Delta\tau$  и частоты Доплера  $\Delta f_d$  опорного сигнала коррелятора от истинных значений  $\tau$  и  $f_d$  принимаемого сигнала согласно формуле (1.7):

$$X(T) = \frac{AT}{2} \left| c(\Delta\phi) \frac{\sin(p\Delta f_d T)}{p\Delta f_d T} \right|, \quad (1.7)$$

где  $c(\Delta\phi)$  – корреляционная функция псевдослучайной последовательности дальномерного кода.

### Результаты и обсуждения.

Для определения зоны действия бистатического звена «спутник – цель – приемник» были проведены исследования зависимости теневой ЭПР типовой воздушной цели, а также мощности навигационного сигнала СРНС ГЛОНАСС, рассеянного этой целью, от различных факторов (рисунки 1.2 – 1.6).

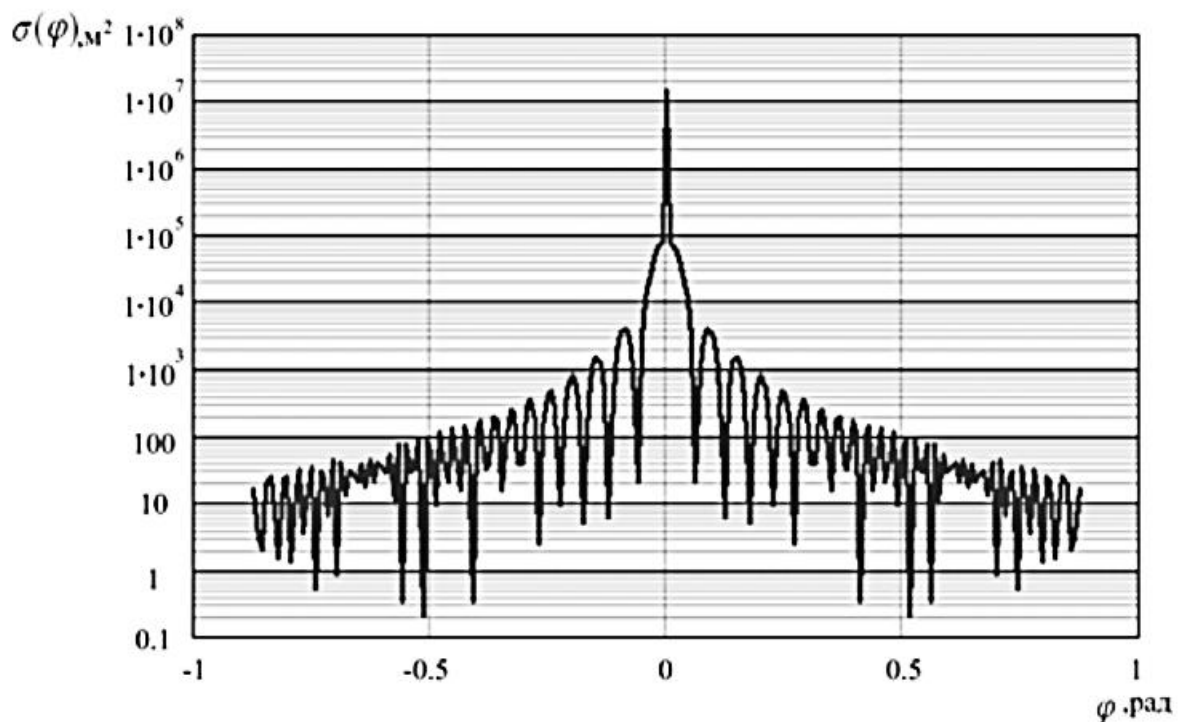


Рисунок 1.2 – График зависимости бистатической ЭПР от угла облучения

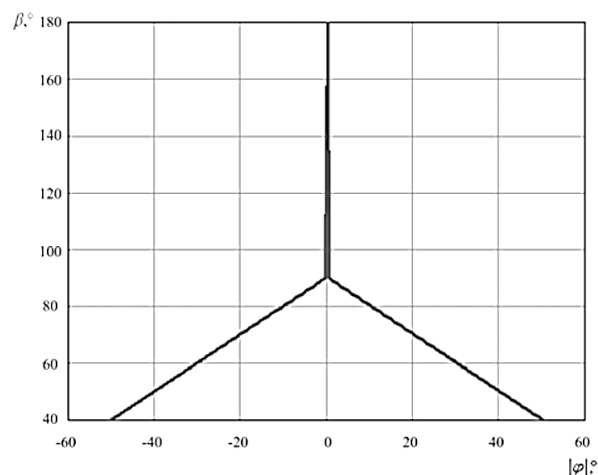


Рисунок.1.3 – График зависимости бистатического угла от угла облучения

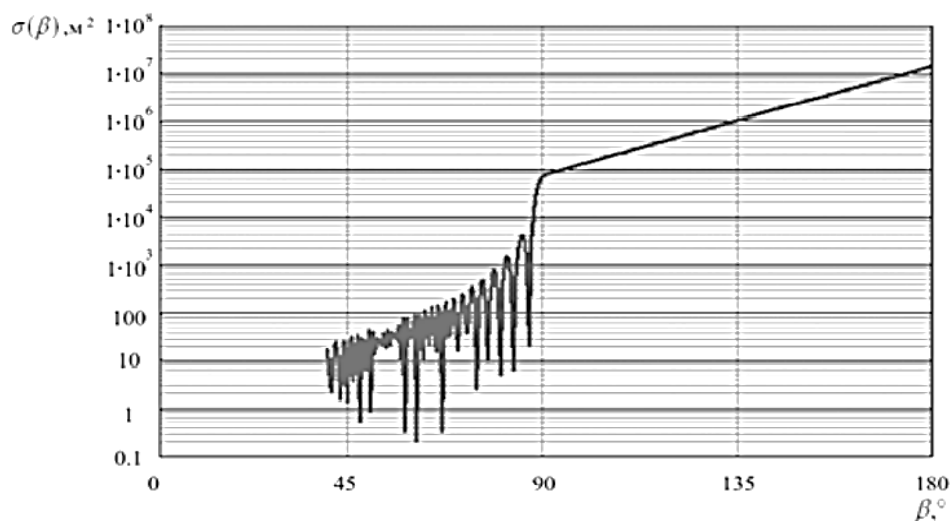


Рисунок 1.4 – График зависимости бистатической ЭПР от бистатического угла

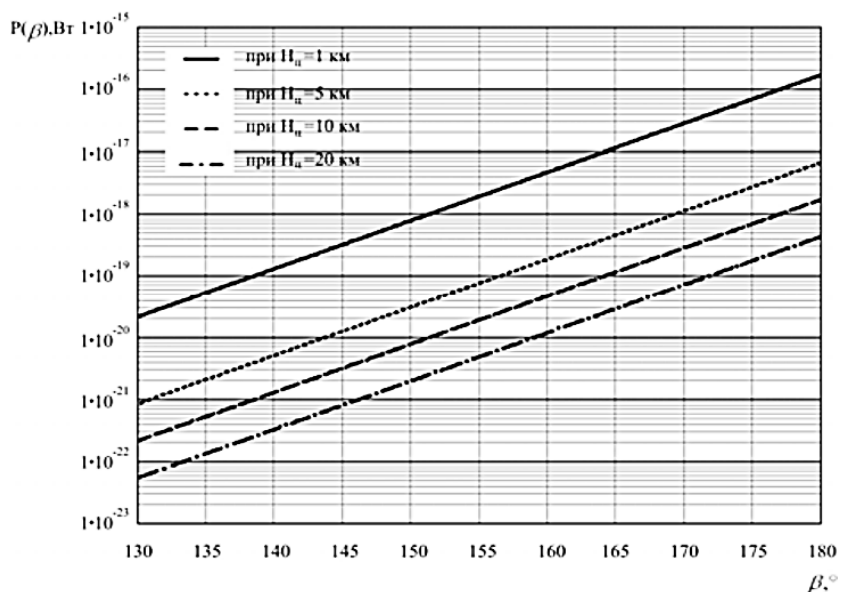


Рисунок 1.5 – График зависимости мощности сигнала, рассеянного целью, от бистатического угла для разных высот полета цели

В процессе моделирования были использованы данные  $\sigma_{ц}$  относительных эффективных площадей рассеяния (ЭПР), изменяющихся от 0,01 до 1 м<sup>2</sup>, что соответствует таким целям, как беспилотные летательные аппараты (БПЛА).

Наибольший интерес представляют микро- и мини-БПЛА ближнего радиуса действия с низкой взлетной массой, относительно невысокой скоростью (до 200 км/ч) и дальностью действия до 40-50 км. В качестве факторов, влияющих на мощность сигнала, рассматривалась высота полета цели и горизонтальное удаление цели от луча «спутник – приемник».

На рисунках 1.6-1.8 представлены графики зависимостей мощности  $P$  отраженных от целей сигналов от расстояния до целей при различных ЭПР целей и высотах их полета.

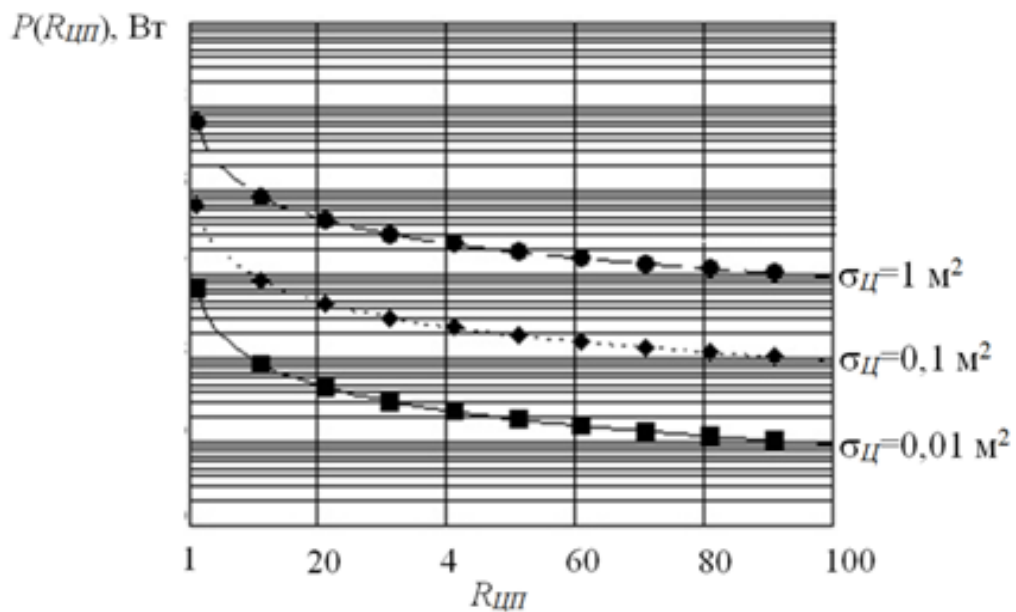


Рисунок 1.6 – Мощность сигнала, рассеянного целью и принятого навигационным приемником для разных ЭПР целей с высотой полета цели 1000 км

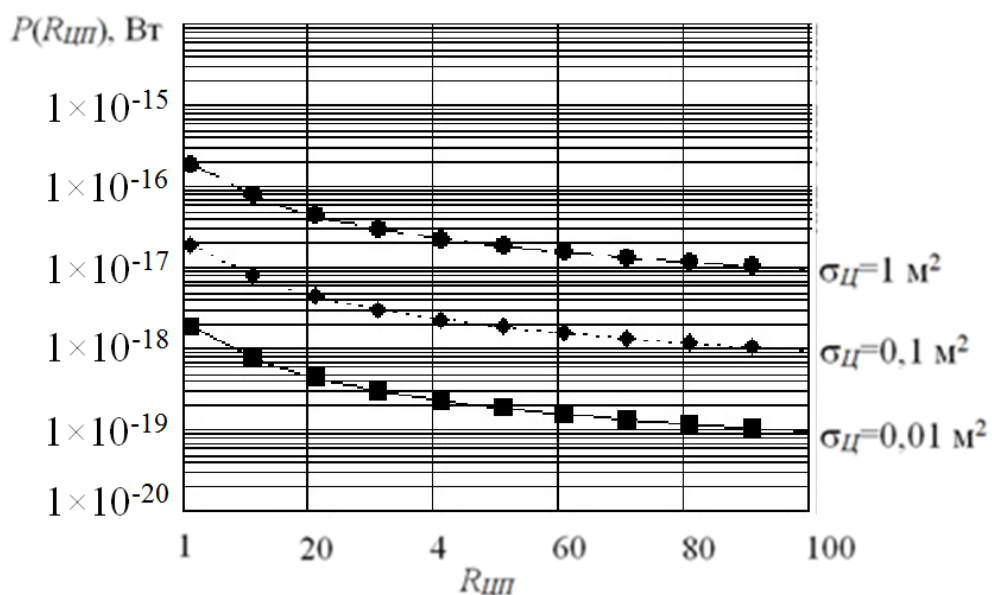


Рисунок 1.7 – Мощность сигнала, рассеянного целью и принятого навигационным приемником для разных ЭПР целей с высотой полета цели 5000 км

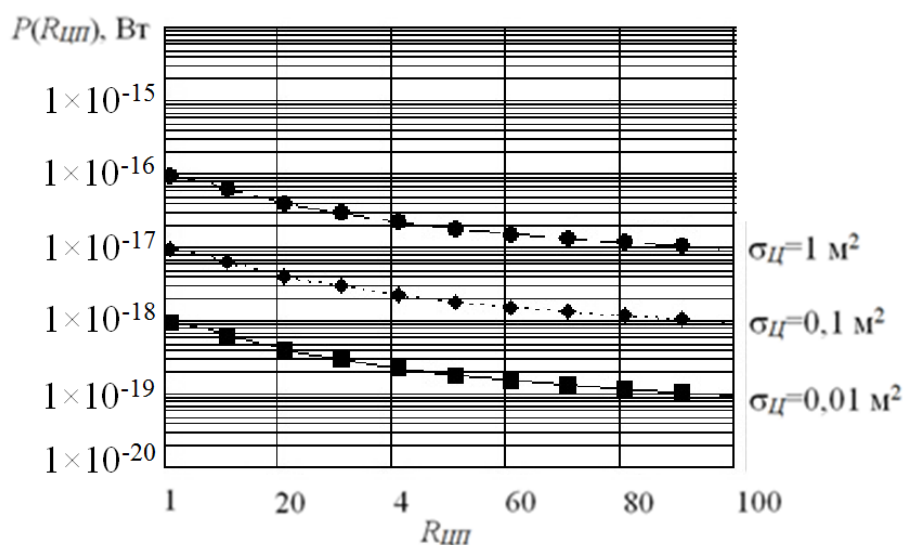


Рисунок 1.8 – Мощность сигнала, рассеянного целью и принятого навигационным приемником для разных ЭПР целей с высотой полета цели 10000 км

Из рисунков 1.6 – 1.8 видно, что сигналы, отраженные от малоразмерных целей, обладают очень низкими энергетическими характеристиками, что затрудняет их прием без применения специальных средств.

Для устойчивого обнаружения при вероятности ложной тревоги порядка 10–3 необходимо обеспечить отношение сигнал/шум на выходе приемника порядка 13 дБ.

Рассматривается случай обнаружения цели с ЭПР равной 0,01 м<sup>2</sup>, находящейся на высоте 10 000 м, с применением рассмотренной ранее фазированной антенной решетки. Из рисунка 3.10 видно, что отношение сигнал/шум на входе приемника изменяется от –19,5 до –29,5 дБ при изменении дальности от 1 до 100 км. На расстоянии 50 км отношение сигнал/шум составляет величину  $\approx 26,5$  дБ. Использование согласованного коррелятора позволяет увеличить отношение сигнал/шум на его выходе еще на  $10 \lg (B) = 30$  дБ ( $B = \Delta F T C$  – база сигнала,  $T$  – длительность сигнала) [5].

Таким образом, при расстоянии до цели 50 км отношение сигнал/шум на выходе согласованного коррелятора приемника составит величину порядка  $\approx 3,5$  дБ. Для устойчивого обнаружения с заданной вероятностью ложной тревоги необходимо обеспечить дальнейшее накопление сигнала GPS. Требуемое время когерентного накопления сигнала составит 9 мс. При скорости БПЛА 200 км/ч цель за это время переместится на 0,5 м.

Приведенные расчеты не учитывают влияния доплеровского сдвига частоты принимаемого сигнала, а также помех, обусловленных сигналом прямого прохождения, значительно превышающим по мощности отраженный от цели сигнал и проникающих в приемный тракт через боковые лепестки ФАР. Также большую роль играет тот факт, насколько точно опорный сигнал коррелятора соответствует по форме сигналу, отраженному от цели. Для уменьшения влияния боковых лепестков приемной антенны принимают различные конструктивные меры.

Предложены два способа определения координат воздушной цели, попавшей в зону действия многопозиционной системы наблюдения «навигационные спутники – воздушная цель – наземный приемник», как математическая основа построения пассивной системы радиолокации на основе использования навигационных радиосигналов ГНСС. Использование навигационных радиосигналов ГНСС обусловлено тем, что навигационные сигналы ГНСС очень информативны и содержат информацию, которая

позволяет определить положения навигационных космических аппаратов в момент излучения сигнала, время прохождения сигнала от фазового центра навигационной антенны до фазового центра навигационного приемника, точные координаты навигационного приемника. Стоит задача определения координат воздушной цели, от которого отражаются навигационные сигналы ГНСС [6].

Пусть в пассивной многопозиционной системе радиолокации «навигационные спутники – воздушная цель – наземный приемник» для подсвета воздушных целей используются навигационные радиосигналы ГНСС  $C_j$  ( $j=1, 2, \dots, N$ , где  $N \geq 4$ ) с координатами  $(x_j, y_j, z_j)$  (рисунок 1.9).

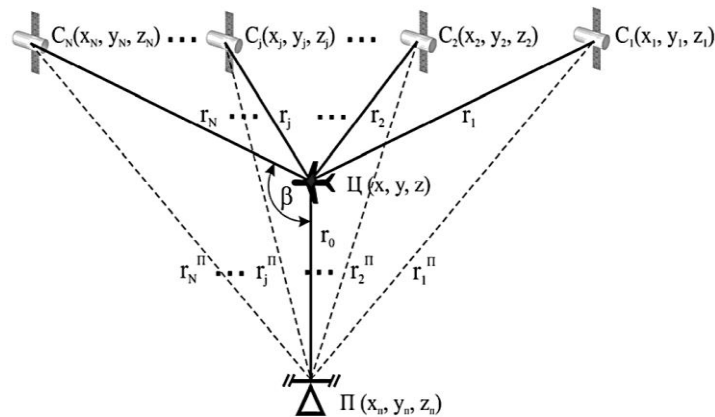


Рисунок 1.9 – Многопозиционная система наблюдения «навигационные спутники – воздушная цель – наземный приемник»

В наземном приемнике  $\Pi$  с известными координатами  $(x_{\Pi}, y_{\Pi}, z_{\Pi})$  наряду с навигационными сигналами, распространяющимися вдоль прямого пути « $j$ -й навигационный спутник – наземный приемник» с геометрической дальностью  $r_j^{\Pi}$  (сигналами прямого распространения), принимаются навигационные сигналы, рассеянные воздушной целью  $\Gamma$  с неизвестными координатами  $(x, y, z)$ , находящейся в зоне действия многопозиционной системы наблюдения. Рассеянные навигационные сигналы выделяют на фоне навигационных сигналов прямого распространения одним из оценочно-корреляционно-компенсационных методов. По рассеянным сигналам осуществляется измерение дальностей  $r_j^P$  вдоль пути распространения « $j$ -й навигационный спутник – воздушная цель – наземный приемник», определяемое по формуле (1.11) [7]:

$$r_j^P = r_j + r_0 + d_{\Pi} + e = \left[ (x_j - x)^2 + (y_j - y)^2 + (z_j - z)^2 \right]^{1/2} + \left[ (x - x_{\Pi})^2 + (y - y_{\Pi})^2 + (z - z_{\Pi})^2 \right]^{1/2} + d_{\Pi} + e, \quad (1.11)$$

где  $r_j$  – дальность пути « $j$ -й навигационный спутник – воздушная цель»;

$r_0$  – дальность пути «воздушная цель – наземный приемник»;

$d_{\Pi}$  – систематическая погрешность измерения дальности, обусловленная смещением шкалы времени приемника относительно бортовой шкалы времени спутников ГНСС;

$e$  – случайная погрешность измерения дальности.

На основании полученных измерений дальностей  $r_j^P$  требуется определить неизвестные координаты  $(x, y, z)$  воздушной цели. Предложенный способ определения

координат воздушной цели, попавшей в зону действия многопозиционной системы наблюдения «навигационные спутники – воздушная цель – наземный приемник», основан на разностно-дальномерном навигационном методе определения координат в аппаратуре потребителя ГНСС.

Таким образом, разработаны математические модели приемной аппаратуры сигналов ГНСС, разработаны математические модели определения координат видимых навигационных спутников по информации, полученной из принятого навигационного радиосигнала ГНСС.

### **Заключение.**

Разработаны вычислительные схемы оценки энергии отраженного от воздушного объекта и принятого на антенного навигационного приемника радиосигналов ГНСС, вычислительные схемы определения координат воздушного объекта по отраженному от воздушного объекта и принятому на антенную навигационного приемника радиосигналов ГНСС. Новизна исследования заключается в построении вычислительных схем определения координат воздушной цели по отраженному от нее навигационному радиосигналу на основе применения эллипса растворов. Полученные результаты в виде разработанных вычислительных схем составляют основу алгоритмического и программного обеспечения пассивной радиолокационной системы, позволяющей определять требования к ее техническому обеспечению. Значимость работы определяется целью проводимого исследования - создание пассивной радиолокационной технологии обнаружения воздушных объектов как в интересах сил ПВО, так и для гражданской авиации. Данная работа выполнена при финансовой поддержке Комитета науки Министерства науки и высшего образования Республики Казахстан (грант № AP09260581).

### **ЛИТЕРАТУРА**

[10] Filatchenkov, S. Broadcast Standard for Russian Maritime DGPS/DGLONASS Service / Filatchenkov S., Khimulin K., Chistyakov Vol., Bazarov Y. // Proc. of DSNS-96. – St. Petersburg, 1996. – P. 21.

[11] Соловьев, Ю.А. Точность определения относительных координат и синхронизации шкал времени объектов при использовании спутниковых радионавигационных систем // Радиотехника. – ИПРЖР, 1998. – № 9.

[12] Глобальные навигационные спутниковые системы. Системы координат. Методы преобразований координат определяемых точек: ГОСТ Р 51794 – 2008. – М.: Издательство стандартов, 2008.

[13] Hartman, R. Demonstration of a P(Y)-Code Differential GPS Precision Approach System, Navigation (USA). Hartman R., Johnson D. – 1998. – Vol. 45, № 1.

[14] Глобальная навигационная спутниковая система. Аппаратура потребителей навигационная гражданского назначения для ракет-носителей, разгонных блоков и космических аппаратов. Технические требования: ГОСТ 32448 – 2013. – М.: Издательство стандартов, 2013.

[15] Глобальная навигационная спутниковая система. Системы координат. Методы преобразований координат определяемых точек: ГОСТ 32453 – 2013. – М.: Издательство стандартов, 2013.

[16] Глобальная навигационная спутниковая система и глобальная система позиционирования. Приемник морской общего пользования. Технические требования: ГОСТ Р 52455 – 2005. – М.: Издательство стандартов, 2005.

[17] INTERFACE SPECIFICATION GPS, 2021 - 245 с. – URL: <https://www.gps.gov/technical/icwg/IS-GPS-200M.pdf> (дата обращения 25.05.2021 г.)

#### REFERENCES\*

[1] Filatchenkov, S. Broadcast Standard for Russian Maritime DGPS/DGLONASS Service / Filatchenkov S., Khimulin K., Chistyakov Vol., Bazarov Y. // Proc. of DSNS-96. – St. Petersburg, 1996. – P. 21.

[2] Solov'ev, Ju.A. Tochnost' opredelenija odnositel'nyh koordinat i sinhronizacii shkal vremeni ob#ektov pri ispol'zovanii sputnikovyh radionavigacionnyh sistem // Radiotekhnika. – IPRZhR, 1998. – № 9.

[3] Global'nye navigacionnye sputnikovye sistemy. Sistemy koordinat. Metody preobrazovanij koordinat opredeljaemyh toчек: GOST R 51794 – 2008. – M.: Izdatel'stvo standartov, 2008.

[4] Hartman, R. Demonstration of a P(Y)-Code Differential GPS Precision Approach System, Navigation (USA). Hartman R., Johnson D. – 1998. – Vol. 45, № 1.

[5] Global'naja navigacionnaja sputnikovaja sistema. Apparatura potrebitelej navigacionnaja grazhdanskogo naznachenija dlja raket-nositelej, razgonnyh blokov i kosmicheskikh apparatov. Tehnicheskie trebovanija: GOST 32448 – 2013. – M.: Izdatel'stvo standartov, 2013.

[6] Global'naja navigacionnaja sputnikovaja sistema. Sistemy koordinat. Metody preobrazovanij koordinat opredeljaemyh toчек: GOST 32453 – 2013. – M.: Izdatel'stvo standartov, 2013.

[7] Global'naja navigacionnaja sputnikovaja sistema i global'naja sistema pozicionirovanija. Priemnik morskoy obshhego pol'zovanija. Tehnicheskie trebovanija: GOST R 52455 – 2005. – M.: Izdatel'stvo standartov, 2005.

[8] INTERFACE SPECIFICATION GPS, 2021 - 245 s. – URL: <https://www.gps.gov/technical/icwg/IS-GPS-200M.pdf> (data obrashhenija 25.05.2021 g.)

**Нурлан Богуспаев**, директор, «Алматы Технологиялық Институты» ЖШС, Алматы, Қазақстан, [nurlanbsv@mail.ru](mailto:nurlanbsv@mail.ru)

**Алмат Раскалиев**, СНТЗ ғылыми жетекшісі, «Ғарыштық техника және технологиялар институты» ЕЖШС, Алматы, Қазақстан, [raskaliyev@mail.ru](mailto:raskaliyev@mail.ru)

**Шамсигүл Қобдықова**, бөлім меңгерушісі, Қазақстан Республикасы Президентінің жанындағы «Қазақстан Республикасы Ұлттық ғылым академиясы» КЕАҚ, Алматы, Қазақстан, [shkobdikova@gmail.com](mailto:shkobdikova@gmail.com)

**Анатолий Самсоненко**, бас инженер, «Ғарыштық техника және технологиялар институты» ЕЖШС, Алматы, Қазақстан, [Anatolly.sam@yandex.kz](mailto:Anatolly.sam@yandex.kz)

**Сабыржан Жұмағали**, ғылыми қызметкер, «Ғарыштық техника және технологиялар институты» ЕЖШС, Алматы, Қазақстан, [sabr.zh@mail.ru](mailto:sabr.zh@mail.ru)

#### ӘУЕ ОБЪЕКТИСІНЕН ШАҒЫЛЫСҚАН ЖӘНЕ АНТЕННАҒА ҚАБЫЛДАНҒАН ГНСС РАДИОСИГНАЛДАРЫНЫҢ НАВИГАЦИЯЛЫҚ ҚАБЫЛДАҒЫШЫ БОЙЫНША ӘУЕ ОБЪЕКТИСІНІҢ КООРДИНАТТАРЫН АЙҚЫНДАУДЫҢ ЕСЕПТЕУ СХЕМАСЫН ӘЗІРЛЕУ

**Аңдатпа.** Бұл мақала GNSS сигналдарын қабылдау аппаратурасының математикалық моделін жасауға, алынған навигациялық радиосигналдан алынған ақпараттан көрінетін навигациялық спутниктердің координаталарын анықтаудың

математикалық моделін жасауға, әуедегі объектіден шағылысқан және навигациялық қабылдағыштың антеннасында қабылданған GNSS радиосигналының энергиясын бағалауға арналған математикалық модель.

**Түйінді сөздер.** GNSS, NAP, навигациялық радиосигнал, EPR, жердегі қабылдағыш, спутник.

**Nurlan Boguspaev**, Director, LLP “Almaty Institute of Technology”, Almaty, Kazakhstan, nurlanbsv@mail.ru

**Almat Raskaliyev**, scientific director of the SNT, SLLP «Institute of Space Engineering and Technology», Almaty, Kazakhstan, raskaliyev@mail.ru

**Shamsigul Kobdikova**, head of department, NJSC «National Academy of Sciences of the Republic of Kazakhstan» under the President of the Republic of Kazakhstan, Almaty, Kazakhstan, shkobdikova@gmail.com

**Anatoly Samsonenko**, chief engineer, SLLP «Institute of Space Engineering and Technology», Almaty, Kazakhstan, anatolly.sam@yandex.kz

**Sabyrzhan Zhumagali**, researcher, SLLP «Institute of Space Engineering and Technology», Almaty, Kazakhstan, sabr.zh@mail.ru

#### **DEVELOPMENT OF A COMPUTATIONAL SCHEME FOR DETERMINING THE COORDINATES OF AN AIR OBJECT BASED ON THE GNSS RADIO SIGNALS REFLECTED FROM THE AIR OBJECT AND RECEIVED ON THE ANTENNA OF THE NAVIGATION RECEIVER**

**Abstract.** This article is devoted to the development of a mathematical model of the GNSS signal receiving equipment, the development of a mathematical model for determining the coordinates of visible navigation satellites based on information received from the received navigation radio signal, the development of a mathematical model for estimating the energy of the GNSS radio signal reflected from an aerial object and received on the antenna of the navigation receiver.

**Keywords.** GNSS, NAP, navigation radio signal, EPR, ground receiver, satellite.

\*\*\*\*\*