



АКТУАЛЬНЫЕ ИССЛЕДОВАНИЯ

МЕЖДУНАРОДНЫЙ НАУЧНЫЙ ЖУРНАЛ

ISSN 2713-1513



#21 (151), 2023

Часть I

Актуальные исследования

Международный научный журнал

2023 • № 21 (151)

Часть I

Издается с ноября 2019 года

Выходит еженедельно

ISSN 2713-1513

Главный редактор: Ткачев Александр Анатольевич, канд. социол. наук

Ответственный редактор: Ткачева Екатерина Петровна

Статьи, поступающие в редакцию, рецензируются.

За достоверность сведений, изложенных в статьях, ответственность несут авторы.

Мнение редакции может не совпадать с мнением авторов статей.

При использовании и заимствовании материалов ссылка на издание обязательна.

Материалы публикуются в авторской редакции.

РЕДАКЦИОННАЯ КОЛЛЕГИЯ

Абидова Гулмира Шухратовна, доктор технических наук, доцент (Ташкентский государственный транспортный университет)

Альборад Ахмед Абуди Хусейн, преподаватель, PhD, Член Иракской Ассоциации спортивных наук (Университет Куфы, Ирак)

Аль-бутбахак Башшар Абуд Фадхиль, преподаватель, PhD, Член Иракской Ассоциации спортивных наук (Университет Куфы, Ирак)

Альхаким Ахмед Кадим Абдуалкарем Мухаммед, PhD, доцент, Член Иракской Ассоциации спортивных наук (Университет Куфы, Ирак)

Асаналиев Мелис Казыкеевич, доктор педагогических наук, профессор, академик МАНПО РФ (Кыргызский государственный технический университет)

Атаев Загир Вагитович, кандидат географических наук, проректор по научной работе, профессор, директор НИИ биогеографии и ландшафтной экологии (Дагестанский государственный педагогический университет)

Бафоев Феруз Муртазович, кандидат политических наук, доцент (Бухарский инженерно-технологический институт)

Гаврилин Александр Васильевич, доктор педагогических наук, профессор, Почетный работник образования (Владимирский институт развития образования имени Л.И. Новиковой)

Галузо Василий Николаевич, кандидат юридических наук, старший научный сотрудник (Научно-исследовательский институт образования и науки)

Григорьев Михаил Федосеевич, кандидат сельскохозяйственных наук, доцент (Арктический государственный агротехнологический университет)

Губайдуллина Гаян Нурахметовна, кандидат педагогических наук, доцент, член-корреспондент Международной Академии педагогического образования (Восточно-Казахстанский государственный университет им. С. Аманжолова)

Ежкова Нина Сергеевна, доктор педагогических наук, профессор кафедры психологии и педагогики (Тульский государственный педагогический университет им. Л.Н. Толстого)

Жилина Наталья Юрьевна, кандидат юридических наук, доцент (Белгородский государственный национальный исследовательский университет)

Ильина Екатерина Александровна, кандидат архитектуры, доцент (Государственный университет по землеустройству)

Каландаров Азиз Абдурахманович, PhD по физико-математическим наукам, доцент, декан факультета информационных технологий (Гулистанский государственный университет)

Карпович Виктор Францевич, кандидат экономических наук, доцент (Белорусский национальный технический университет)

Кожевников Олег Альбертович, кандидат юридических наук, доцент, Почетный адвокат России (Уральский государственный юридический университет)

Колесников Александр Сергеевич, кандидат технических наук, доцент (Южно-Казахстанский университет им. М. Ауэзова)

Копалкина Евгения Геннадьевна, кандидат философских наук, доцент (Иркутский национальный исследовательский технический университет)

Красовский Андрей Николаевич, доктор физико-математических наук, профессор, член-корреспондент РАЕН и АИН (Уральский технический институт связи и информатики)

Кузнецов Игорь Анатольевич, кандидат медицинских наук, доцент, академик международной академии фундаментального образования (МАФО), доктор медицинских наук РАГПН,

профессор, почетный доктор наук РАЕ, член-корр. Российской академии медико-технических наук (РАМТН) (Астраханский государственный технический университет)

Литвинова Жанна Борисовна, кандидат педагогических наук (Кубанский государственный университет)

Мамедова Наталья Александровна, кандидат экономических наук, доцент (Российский экономический университет им. Г.В. Плеханова)

Мукий Юлия Викторовна, кандидат биологических наук, доцент (Санкт-Петербургская академия ветеринарной медицины)

Никова Марина Александровна, кандидат социологических наук, доцент (Московский государственный областной университет (МГОУ))

Насакаева Бакыт Ермекбайкызы, кандидат экономических наук, доцент, член экспертного Совета МОН РК (Карагандинский государственный технический университет)

Олешкевич Кирилл Игоревич, кандидат педагогических наук, доцент (Московский государственный институт культуры)

Попов Дмитрий Владимирович, доктор филологических наук (DSc), доцент (Андижанский государственный институт иностранных языков)

Пятаева Ольга Алексеевна, кандидат экономических наук, доцент (Российская государственная академия интеллектуальной собственности)

Редкоус Владимир Михайлович, доктор юридических наук, профессор (Институт государства и права РАН)

Самович Александр Леонидович, доктор исторических наук, доцент (ОО «Белорусское общество архивистов»)

Сидикова Тахира Далиевна, PhD, доцент (Ташкентский государственный транспортный университет)

Таджибоев Шарифджон Гайбуллоевич, кандидат филологических наук, доцент (Худжандский государственный университет им. академика Бободжона Гафурова)

Тихомирова Евгения Ивановна, доктор педагогических наук, профессор, Почётный работник ВПО РФ, академик МААН, академик РАЕ (Самарский государственный социально-педагогический университет)

Хаитова Олмахон Саидовна, кандидат исторических наук, доцент, Почетный академик Академии наук «Турон» (Навоийский государственный горный институт)

Цуриков Александр Николаевич, кандидат технических наук, доцент (Ростовский государственный университет путей сообщения (РГУПС))

Чернышев Виктор Петрович, кандидат педагогических наук, профессор, Заслуженный тренер РФ (Тихоокеанский государственный университет)

Шаповал Жанна Александровна, кандидат социологических наук, доцент (Белгородский государственный национальный исследовательский университет)

Шошин Сергей Владимирович, кандидат юридических наук, доцент (Саратовский национальный исследовательский государственный университет имени Н.Г. Чернышевского)

Эшонкулова Нуржахон Абдужабборовна, PhD по философским наукам, доцент (Навоийский государственный горный институт)

Яхшиева Зухра Зиятовна, доктор химических наук, доцент (Джиззакский государственный педагогический институт)

СОДЕРЖАНИЕ

МАТЕМАТИКА

Михайлова Е.В.

| | |
|--|---|
| ЗАДАНИЕ №10 ПО ТЕМЕ «ГРАФИКИ ФУНКЦИЙ» ЕГЭ ПО МАТЕМАТИКЕ ПРОФИЛЬНОГО УРОВНЯ 2023 ГОДА..... | 5 |
|--|---|

БИОЛОГИЯ

Хакимова П.Ш., Ашурова Д., Ибрагимова М.Н., Эргашева Э.А.

| | |
|---|----|
| ТАШХИСИ ХУСУСИЯТҲОИ MORFOБИОЛОҒИ ВА РОҲҲОИ БАЛАНД БАРДОШТАНИ ҲОСИЛНОКИИ РАСТАНИИ ПАХТА | 15 |
|---|----|

Хакимова П.Ш., Ашурова Д., Ибрагимова М.Н., Эргашева Э.А.

| | |
|--|----|
| ХУСУСИЯТҲОИ ТАҚСИМШАВИИ АССИМИЛЯТҲО ДАР ДАВРАҲОИ НАШЪУНАМОИ РАСТАНИИ НИҲОЛИ ПАХТА | 18 |
|--|----|

ТЕХНИЧЕСКИЕ НАУКИ

Ибрагимов С.Д.

| | |
|--|----|
| РАЗРАБОТКА СИСТЕМЫ АВТОМАТИЧЕСКОГО УПРАВЛЕНИЯ МНОГОДВИГАТЕЛЬНЫМ ЭЛЕКТРОПРИВОДОМ МАГИСТРАЛЬНОГО КОНВЕЙЕРА САУ МЭМК..... | 22 |
|--|----|

Маркосов С.А., Юдин Р.В., Золотарев В.В.

| | |
|--|----|
| ПРИМЕНЕНИЕ МИКРОКРЕМНЕЗЁМА В ПРОИЗВОДСТВЕ ЦЕМЕНТНОГО БЕТОНА | 31 |
|--|----|

Рысин А.В., Бойкачев В.Н., Наянов А.М., Островский Я.Б.

| | |
|--|----|
| ОБОСНОВАНИЕ И СРАВНЕНИЕ ФУНКЦИОНАЛЬНЫХ СХЕМ РАДИОУПРАВЛЕНИЯ ДЛЯ БЕСПИЛОТНЫХ ЛЕТАТЕЛЬНЫХ АППАРАТОВ (БПЛА) В ШИРОКОМ ДИАПАЗОНЕ ЧАСТОТ НА ОСНОВЕ ОПТИМИЗИРОВАННЫХ РАДИОТЕХНИЧЕСКИХ ПАРАМЕТРОВ..... | 38 |
|--|----|

Шариков И.А., Деньжаков С.Ю., Тихонов Е.С., Макеев В.А.

| | |
|---|----|
| ПРОБЛЕМЫ И ПУТИ РЕШЕНИЯ ПРЕОБРАЗОВАНИЯ ДАННЫХ ДЛЯ СИСТЕМ СПУТНИКОВОЙ СВЯЗИ | 81 |
|---|----|

ВОЕННОЕ ДЕЛО

Чинакаев Д.Р., Отроков М.А.

| | |
|--|----|
| ФИЗИЧЕСКОЕ ВОСПИТАНИЕ ВОЕННОСЛУЖАЩИХ ВОЙСК НАЦИОНАЛЬНОЙ ГВАРДИИ | 85 |
|--|----|

НЕФТЯНАЯ ПРОМЫШЛЕННОСТЬ

Ягафаров Д.Ф.

| | |
|--|----|
| ПОДЗЕМНОЕ ХРАНЕНИЕ ВОДОРОДА В ИСТОЩЕННОМ МЕСТОРОЖДЕНИИ | 88 |
|--|----|

МАТЕМАТИКА



DOI 10.51635/27131513_2023_21_1_5

МИХАЙЛОВА Екатерина Владимировна

старший преподаватель кафедры «Математика»,
Специализированный учебно-научный центр МГТУ имени Н. Э. Баумана;
учитель математики, ГБОУ «Бауманская инженерная школа № 1580»,
Россия, г. Москва

ЗАДАНИЕ №10 ПО ТЕМЕ «ГРАФИКИ ФУНКЦИЙ» ЕГЭ ПО МАТЕМАТИКЕ ПРОФИЛЬНОГО УРОВНЯ 2023 ГОДА

Аннотация. В 2022 году в вариантах Единого государственного экзамена по математике профильного уровня появилась задача №10 по теме «Графики функций». По графику функции, который дается в условии, нужно определить неизвестные параметры в ее формуле и, возможно, – найти значение функции в некоторой точке или координаты точки пересечения графиков функций. В статье разбираются основные способы решения задач такого типа.

Ключевые слова: математика, ЕГЭ, профильный уровень, функция, график функции.

Задача на тему “Графики функций” в едином государственном экзамене по математике профильного уровня появилась только в 2022 году, на данный момент это самая молодая и мало изученная задача на экзамене.

В перечне требований к результатам освоения основной образовательной программы среднего общего образования указано, что для успешного выполнения этой задачи экзаменуемый должен уметь:

- определять значение функции по значению аргумента при различных способах задания функции; описывать по графику поведение и свойства функции, находить по графику функции наибольшее и наименьшее значения; строить графики изученных функций, описывать с помощью функций различные реальные зависимости между величинами и интерпретировать их графики;

- моделировать реальные ситуации на языке алгебры, составлять уравнения и неравенства по условию задачи; исследовать построенные модели с использованием аппарата алгебры, а именно – решать уравнения, простейшие системы уравнений, используя свойства функций и их графиков; использовать для приближенного решения уравнений и неравенств графический метод;

В перечне элементов содержания, проверяемых на едином государственном экзамене по математике задачами на тему “Графики функций” указаны:

- Линейная функция, её график
- Функция, описывающая обратную пропорциональную зависимость, её график
- Квадратичная функция, её график
- Степенная функция с натуральным показателем, её график
- Тригонометрические функции, их графики
- Показательная функция, её график
- Логарифмическая функция, её график

А также преобразования графиков функций: сдвиг, умножение на число, отражение относительно координатных осей.

Количество заданий по теме графики функций, представленных на сайте fipi.ru [2] в открытом банке задач, на данный момент невелико, поэтому при подготовке к экзамену мы можем дополнительно использовать задачи из сборников, рекомендованных ФИПИ [1], варианты ЕГЭ, тренировочных [3] и диагностических работ этого и прошлого года и собственную фантазию.

Примерное время выполнения задания выпускником, изучавшим математику на профильном уровне, 8 минут.

Перейдём к разбору задач. Первая группа из трёх заданий решается подстановкой координат единственной точки в указанную функцию,

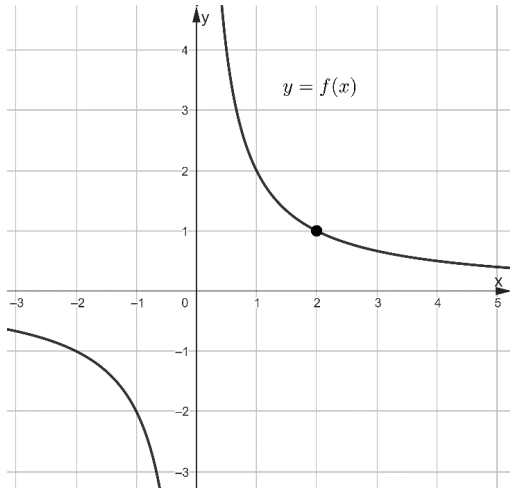


Рис. 1

Решение: Координаты точки, указанной на рисунке, (2;1), подставляем в равенство, получаем $1 = \frac{k}{2}$ или $k = 2$, значит, изображённая функция имеет вид $f(x) = \frac{2}{x}$, а $f(10) = \frac{2}{10} = 0,2$.

Ответ: 0,2.

Задача 2. На рисунке 2 изображён график функции вида $f(x) = \log_a x$. Найдите значение переменной, при которой $f(x) = -4$.

Решение: На приведённом рисунке указаны две точки, координаты первой (1;0) не позволяют найти значения параметра a , так как все

логарифмические функции данного вида проходят через эту точку. Подставляя в равенство координаты второй точки (2;-1), получаем $-1 = \log_a 2$ или $a = \frac{1}{2}$, значит, изображённая функция имеет вид $f(x) = \log_{\frac{1}{2}} x$, а $f(x) = -4$, если $\log_{\frac{1}{2}} x = -4$ или $x = 16$.

получением недостающего параметра и вычислением искомого значения.
Задача 1. На рисунке 1 изображён график функции вида $f(x) = \frac{k}{x}$. Найдите значение $f(10)$.

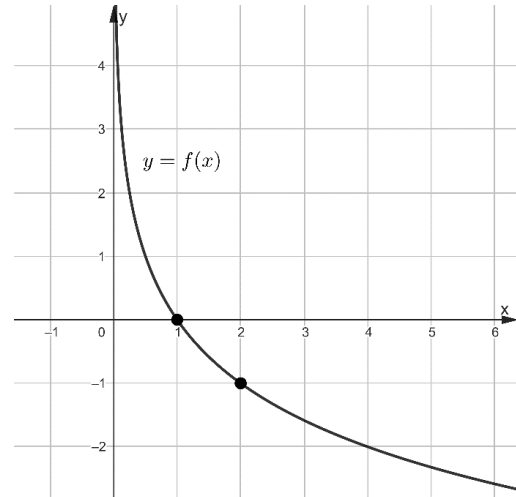


Рис. 2

логарифмические функции данного вида проходят через эту точку. Подставляя в равенство координаты второй точки (2;-1), получаем $-1 = \log_a 2$ или $a = \frac{1}{2}$, значит, изображённая функция имеет вид $f(x) = \log_{\frac{1}{2}} x$, а $f(x) = -4$, если $\log_{\frac{1}{2}} x = -4$ или $x = 16$.

Ответ: 16.

Задача 3. На рисунке 3 изображён график функции вида $f(x) = a^x$. Найдите значение $f(-3)$.

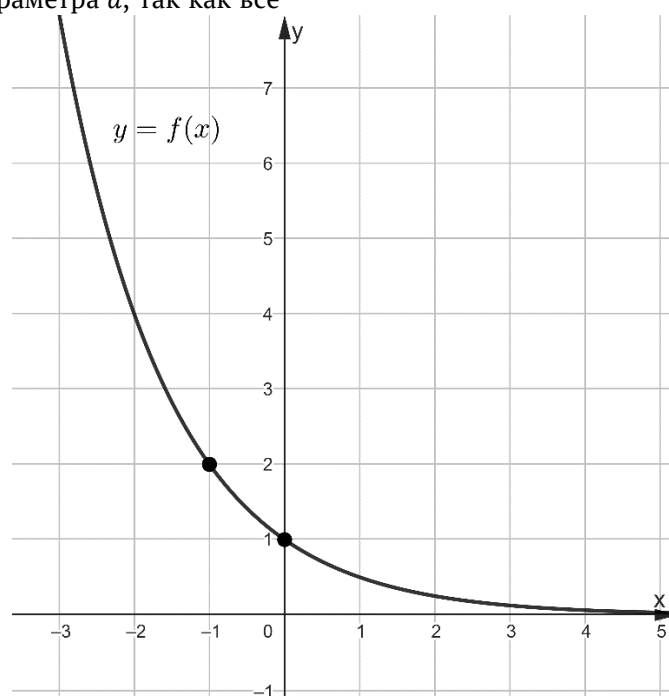


Рис. 3

Решение: На приведённом рисунке указаны две точки, координаты первой (0;1) не позволяют найти значения параметра a , так как все показательные функции данного вида проходят через эту точку.

Подставляя в равенство координаты второй точки (-1;2), получаем $2 = a^{-1}$ или $a = \frac{1}{2}$, значит, изображённая функция имеет вид $f(x) = \left(\frac{1}{2}\right)^x$, а $f(-3) = \left(\frac{1}{2}\right)^{-3} = 8$. Ответ: 8.

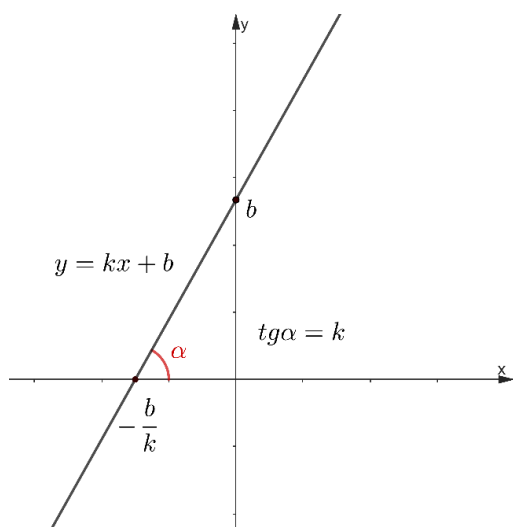


Рис. 4

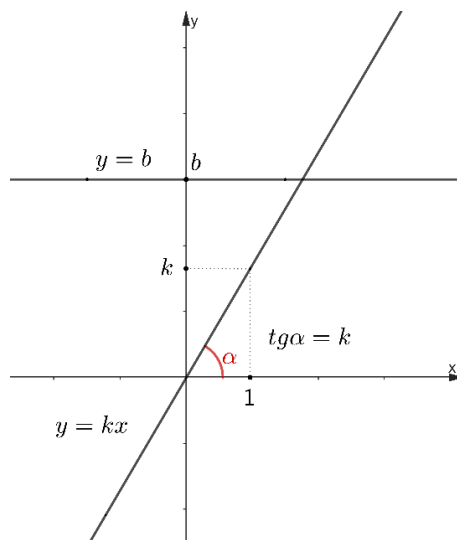


Рис. 5

В следующей группе задач будут рассмотрены линейные функции, напомним основные сведения о них.

Линейную функцию можно задать уравнением с угловым коэффициентом $y = kx + b$, где коэффициент k отвечает за угол наклона α прямой к оси Ox (рис.4).

В случае когда свободный коэффициент b равен нулю, функция превращается в прямую пропорциональность $y = kx$, если нулю равен угловой коэффициент k , то графиком функции будет горизонтальная прямая $y = b$ (рис.5).

Следует напомнить, что существует ещё один способ задания линейной функции, эффективный на ЕГЭ, – это уравнение прямой, проходящей через две точки с координатами $(x_1; y_1)$ и $(x_2; y_2)$ $\frac{x-x_1}{x_2-x_1} = \frac{y-y_1}{y_2-y_1}$.

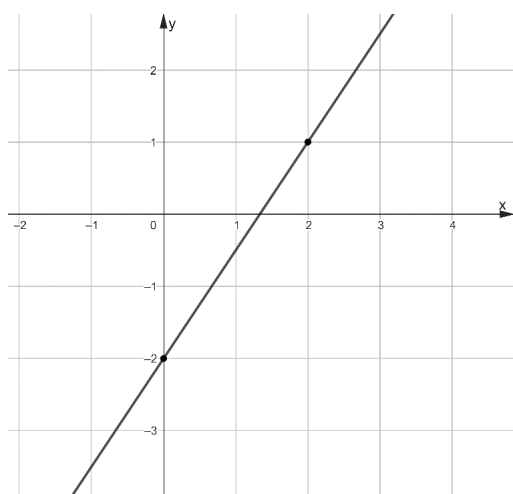


Рис. 6

Задача 4. На рисунке 6 изображён график функции вида $f(x) = kx + b$. Найдите значение $f(5)$.

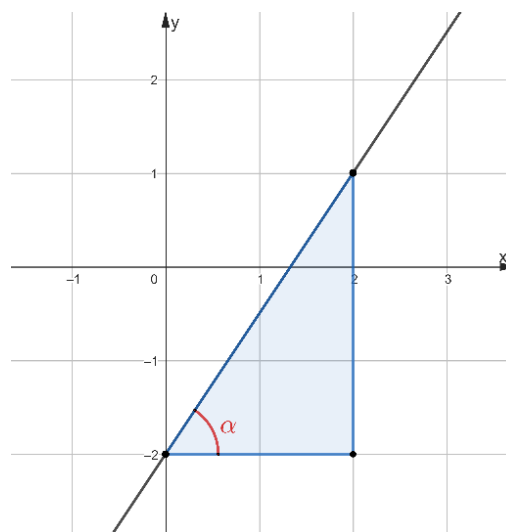


Рис. 7

Решение: Способ 1. Определим координаты выделенных точек $A(2; 1)$ и $B(0; -2)$. Самым простым способом решения задачи является подстановка координат выделенных точек в функцию и решение полученной системы уравнений $\begin{cases} 2k + b = 1 \\ 0k + b = -2 \end{cases} \Leftrightarrow \begin{cases} k = 1,5 \\ b = -2 \end{cases}$. Следовательно, на рисунке изображён график функции $y = 1,5x - 2$, а $f(5) = 1,5 \cdot 5 - 2 = 5,5$.

Способ 2. Построив вспомогательный прямоугольный треугольник (рис.7), проходящий через две выделенные точки, получим, что тангенс угла наклона прямой к оси Ox равен $\text{tga} = \frac{3}{2} = 1,5 = k$, а прямая пересекает ось Oy в

точке с ординатой равной b , значит, $b = -2$, следовательно, на рисунке изображён график функции $y = 1,5x - 2$, а $f(5) = 1,5 \cdot 5 - 2 = 5,5$.

Способ 3. Воспользуемся уравнением прямой, проходящей через две точки и подставим в него координаты выделенных точек $A(2; 1)$ и $B(0; -2)$, через которые проходит наша прямая. Получим, что $\frac{x-2}{0-2} = \frac{y-1}{-2-1} \Leftrightarrow 3(x-2) = 2(y-1) \Leftrightarrow y = 1,5x - 2$. Ответ: 5,5.

Задача 6. На рисунке 8 изображён график функции вида $f(x) = kx + b$. Найдите сумму коэффициентов k и b .

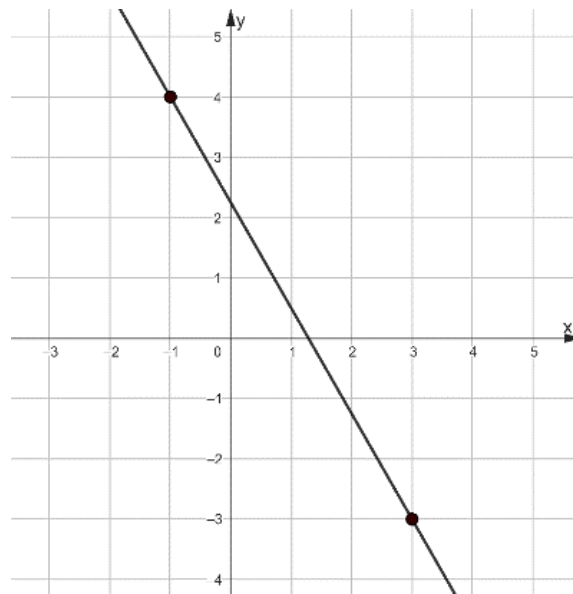


Рис. 8

Решение: Эту задачу опять можно решить подстановкой двух точек в исходную функцию или с помощью уравнения прямой, проходящей через две точки. При решении с помощью

нахождения тангенса угла наклона (рис.9) могут возникнуть трудности, связанные с тем, что ученики неверно находят угол α между прямой и осью Ox , путая его со смежным углом β .

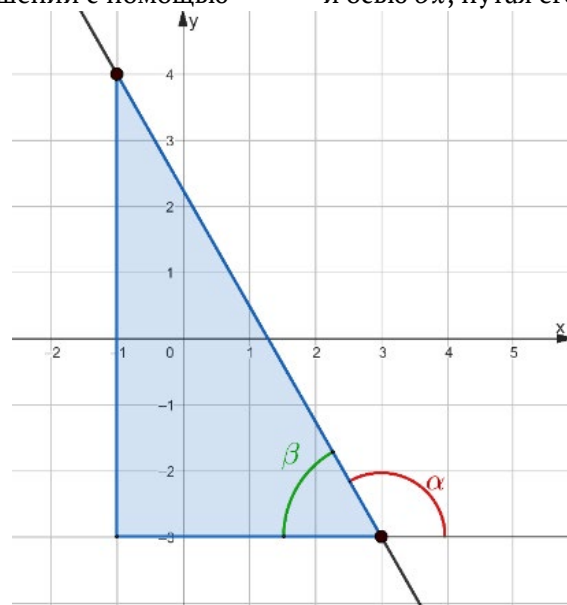


Рис. 9

$$\operatorname{tg}\beta = \frac{7}{4}, \operatorname{tg}\alpha = \operatorname{tg}(180^\circ - \beta) = -\frac{7}{4} = k.$$

Коэффициент b можно найти, подставив координату одной из точек, например $(-1; 4)$, в уравнение $y = -\frac{7}{4}x + b$. Получаем $4 = -\frac{7}{4}$.

$$(-1) + b \text{ или } b = \frac{9}{4}, \text{ тогда } k + b = -\frac{7}{4} + \frac{9}{4} = 0,5.$$

Ответ: 0,5.

Задача 7. На рисунке 10 изображены графики двух линейных функций, пересекающиеся в точке A . Найдите абсциссу точки A .

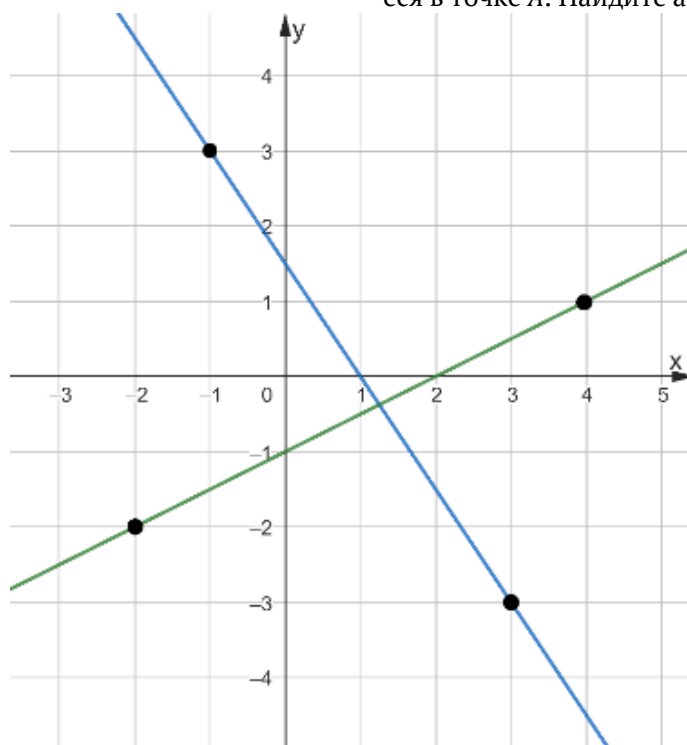


Рис. 10

Решение: Уравнения линейных функций $y = \frac{1}{2}x - 1$ и $y = -\frac{3}{2}x + \frac{3}{2}$, абсцисса точки пересечения $x = 1,25$.

Ответ: 1,25.

Перейдём к задачам на квадратичную функцию.

Задача 8. На рисунке 11 изображён график функции вида $f(x) = ax^2 + bx + c$. Найдите значение $f(-6)$.

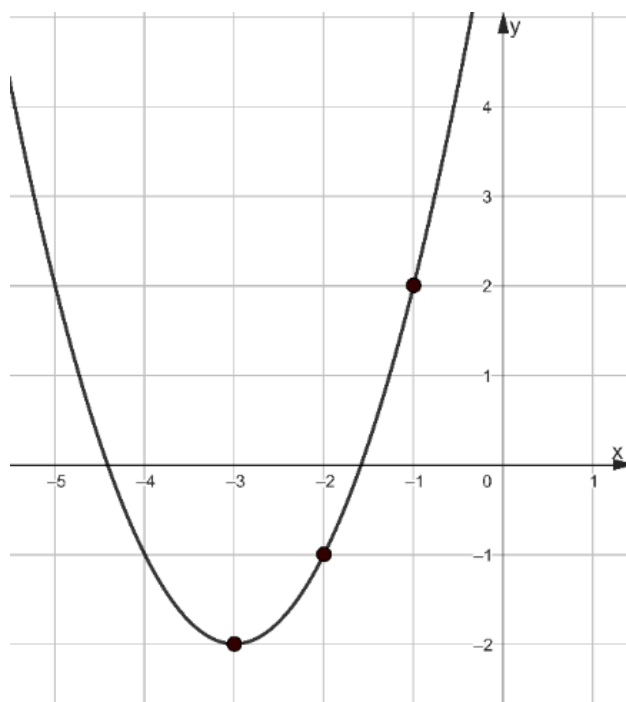


Рис. 11

Решение: у этой задачи опять существует несколько способов решения, ученикам с минимальным уровнем знаний о квадратичной функции проще будет воспользоваться первым способом, а более продвинутым школьникам – последующими.

Способ 1. Найдём координаты выделенных точек $(-3;-2)$, $(-2;-1)$ и $(-1;2)$ и решим систему, подставив их в уравнение функции.

$$\begin{cases} a \cdot (-3)^2 + b \cdot (-3) + c = -2 \\ a \cdot (-2)^2 + b \cdot (-2) + c = -1 \\ a \cdot (-1)^2 + b \cdot (-1) + c = 2 \end{cases} \Leftrightarrow \begin{cases} 9a - 3b + c = -2 \\ 4a - 2b + c = -1 \\ a - b + c = 2 \end{cases} \Leftrightarrow \begin{cases} 9a - 3b + (2 - a + b) = -2 \\ 4a - 2b + (2 - a + b) = -1 \\ c = 2 - a + b \end{cases} \Leftrightarrow \begin{cases} 8a - 2b = -4 \\ 3a - b = -3 \\ c = 2 - a + b \end{cases} \Leftrightarrow \begin{cases} a = 1 \\ b = 6 \\ c = 7 \end{cases}$$

следовательно, функция имеет вид $c = 7$

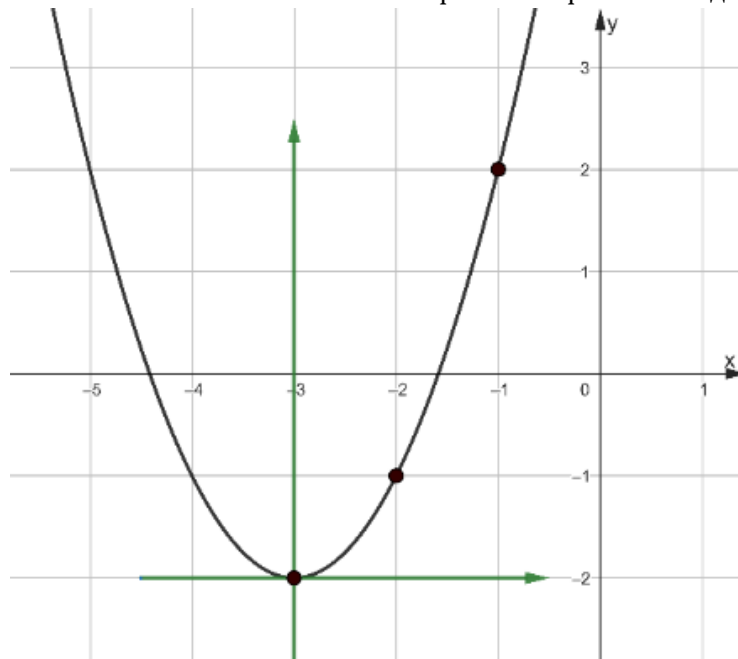


Рис. 12

Введём вспомогательную систему координат с центром в вершине параболы (рис.12) и заметим, что в новой системе координаты точек равны $(0;0)$, $(1;1)$ и $(2;4)$, то есть в новой системе координат эта парабола задаётся уравнением $y = x^2$.

Из этого мы можем сделать вывод, что график искомой функции получается линейными

$$f(x) = x^2 + 6x + 7, \text{ а } f(-6) = (-6)^2 + 6(-6) + 7 = 7.$$

Способ 2. Для решения задачи можно использовать значение абсциссы вершины параболы $x_B = -\frac{b}{2a} = -3 \Leftrightarrow b = 6a$ и подставить только две точки в функцию

$$\begin{cases} b = 6a \\ a \cdot (-2)^2 + b \cdot (-2) + c = -1 \\ a \cdot (-1)^2 + b \cdot (-1) + c = 2 \end{cases} \Leftrightarrow \begin{cases} b = 6a \\ 4a - 2b + c = -1 \\ a - b + c = 2 \end{cases} \Leftrightarrow \begin{cases} b = 6a \\ -8a + c = -1 \\ -5a + c = 2 \end{cases} \Leftrightarrow \begin{cases} b = 6a \\ -8a + c = -1 \\ a = 1 \end{cases}$$

$b = 6, c = 7$. При таком способе решения системы решается несколько быстрее и выглядит менее громоздко.

Способ 3. Этот способ подойдёт для школьников, которые знакомы с элементарными преобразованиями графиков функций, претендует на высокие баллы за экзамен и хочет потратить на решение задачи минимум времени.

преобразованиями квадратичной функции $y = x^2$, а именно сдвигом на 3 единицы влево и на 2 вниз, то есть искомая функция имеет вид $y = (x + 3)^2 - 2 = x^2 + 6x + 7$, а $f(-6) = 7$.

Ответ: 7.

Задача 9. На рисунке 13 изображён график функции вида $f(x) = ax^2 + bx + c$. Найдите значение c .

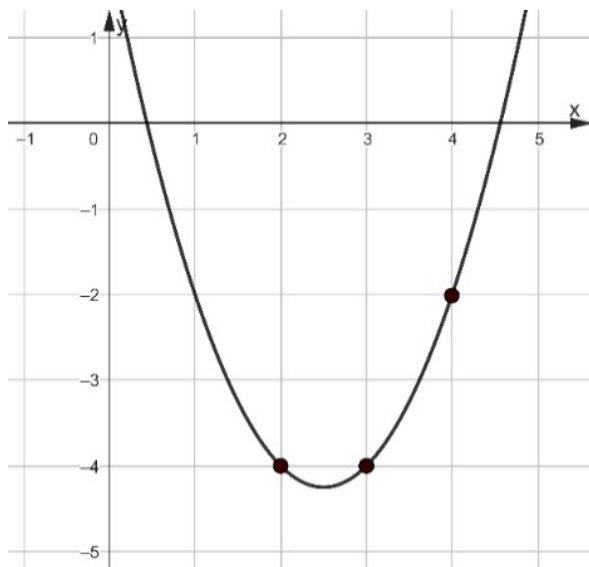


Рис. 13

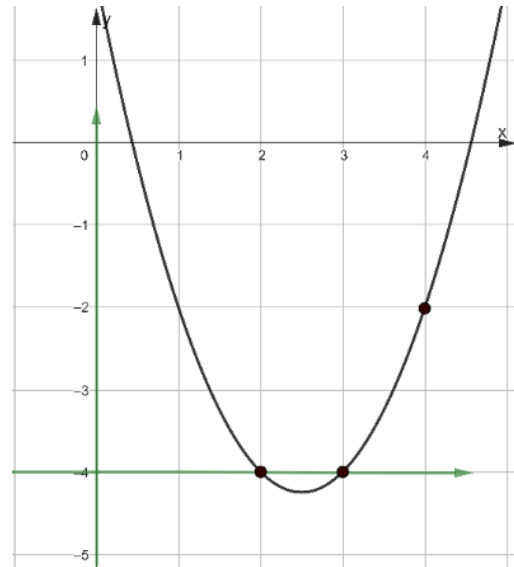


Рис. 14

Решение: Этот номер можно решать подстановкой трёх точек в уравнение функции, а можно опять ввести вспомогательную систему координат (рис.14), в которой у параболы будут два пересечения с осью Ox – точки 2 и 3. Следовательно, квадратичная функция в новой системе координат описывается равенством $y = a(x - 2)(x - 3)$. Подставив точку (4;2) получим, что $a = 1$. А далее, легко видеть, что

искомый график получается из графика $y = (x - 2)(x - 3)$ сдвигом на 4 по вертикали, то есть уравнение имеет вид $y = (x - 2)(x - 3) - 4$ или $y = x^2 - 5x + 2$, значит, $c = 2$.

Ответ: 2.

Задача 10. На рисунке 15 изображены графики функций видов $f(x) = 2x^2 - 5x + 5$ и $g(x) = ax^2 + bx + c$, пересекающиеся в точках А и В. Найдите ординату точки В.

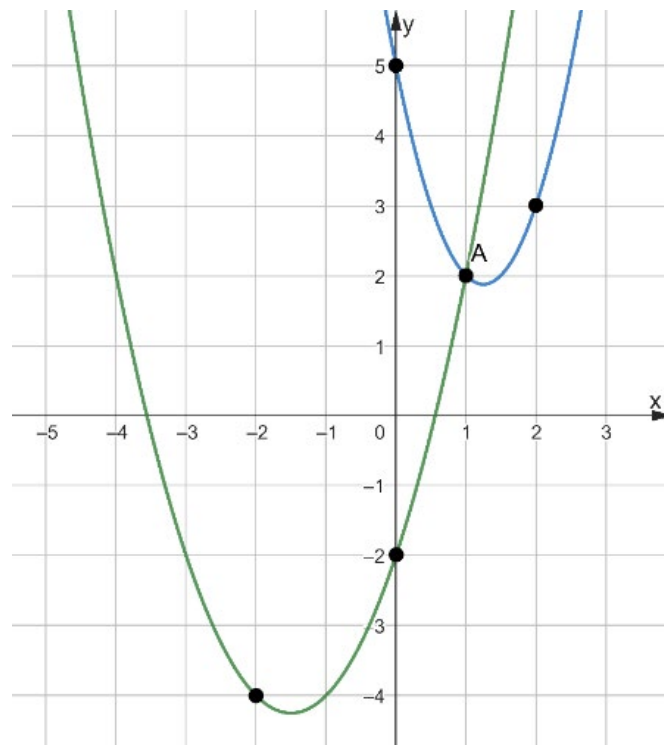


Рис. 15

Решение: При решении этой задачи учащиеся сталкиваются с двумя проблемами: не все школьники могут сопоставить функции и их

графики, и не все школьники понимают где расположена точка В, так как она не указана на рисунке.

Задача о сопоставлении графиков быстро решается нахождением вершины параболы, заданной уравнением $f(x) = 2x^2 - 5x + 5$, абсцисса её вершины $x_B = -\frac{b}{2a} = \frac{5}{4}$, значит, график функции $y = f(x)$ расположен справа. Находим коэффициенты a , b и c для функции $y = g(x)$ и получаем, что $g(x) = x^2 + 3x - 2$.

Для того, чтобы найти точки пересечения двух функций, нужно решить систему уравнений $\begin{cases} y = 2x^2 - 5x + 5 \\ y = x^2 + 3x - 2 \end{cases}$. Решениями системы

являются две пары чисел $(1;2)$ и $(7;68)$, первая пара является координатами точки A , изображенной на рисунке, значит, второе решение соответствует координатам точки B , ордината которой равна 68.

Ответ 68.

Задача 11. На рисунке 16 изображён график функции вида $f(x) = ax^2 + bx + c$. Найдите произведение абсцисс точек, для которых $f(x) = -13$.

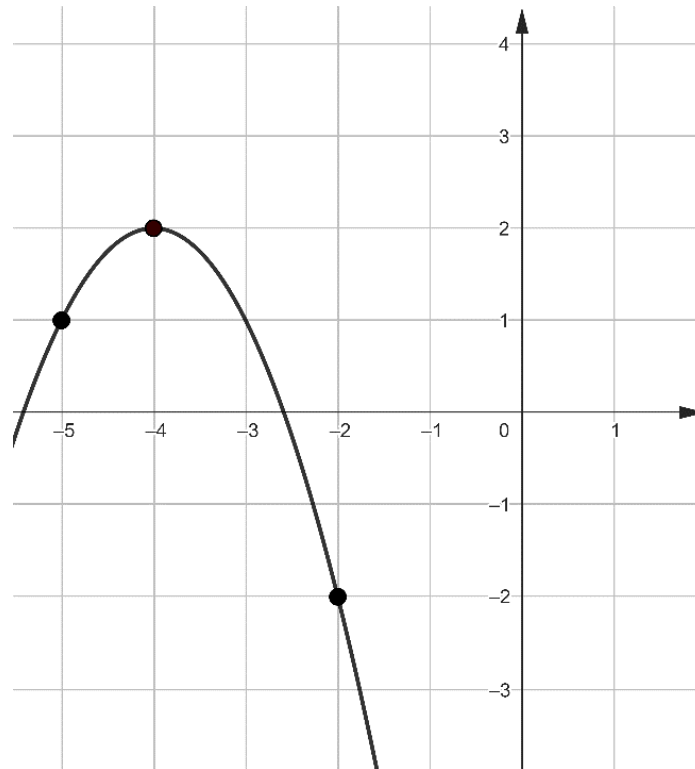


Рис. 16

Решение: Находим коэффициенты a , b и c для функции $y = f(x)$ и получаем, что $f(x) = -x^2 - 8x - 14$.

Для того, чтобы найти абсциссы точек, при которых $f(x) = -13$, нужно решить уравнение $-x^2 - 8x - 14 = -13 \Leftrightarrow x^2 + 8x + 1 = 0$. Произведение корней уравнения находится по теореме Виета и равно $x_1 \cdot x_2 = \frac{c}{a} = 1$.

Ответ: 1.

Успешному решению задач на графики дробно-рациональных функций помогает

знание того, что график функции $f(x) = \frac{ax+b}{cx+d}$ имеет две асимптоты: вертикальную $x = -\frac{d}{c}$ и горизонтальную $y = \frac{a}{c}$, к которой график функции стремится при $x \rightarrow \infty$. График дробно-рациональной функции вида $f(x) = \frac{ax+b}{cx+d}$ симметричен относительно точки пересечения асимптот.

Задача 12. На рисунке 17 изображён график функции вида $f(x) = \frac{ax+b}{cx+d}$. Найдите значение $f(6)$.

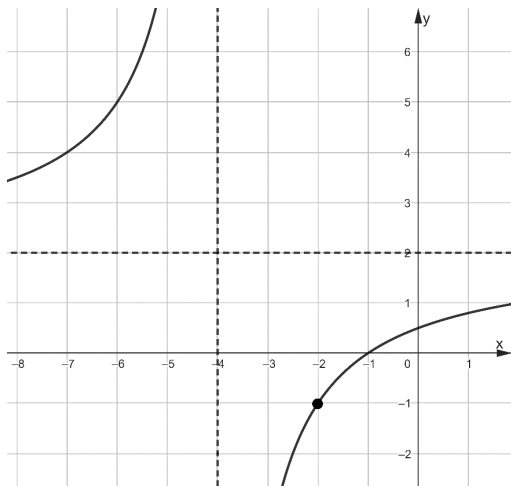


Рис. 17

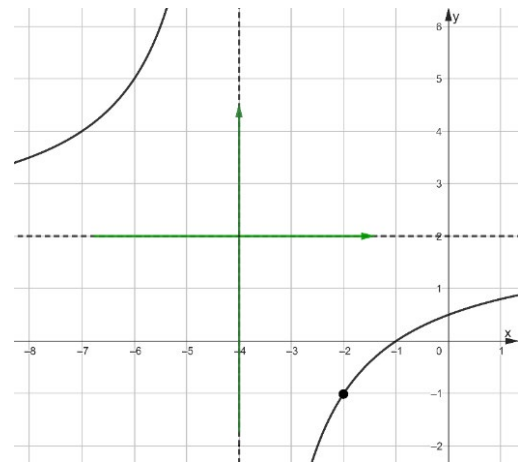


Рис. 18

Решение: Способ 1. График функции $f(x) = \frac{ax+b}{cx+d}$ имеет две асимптоты: вертикальную $x = -\frac{d}{c}$ и горизонтальную $y = \frac{a}{c}$, получаем что $-\frac{d}{c} = -4$ и $\frac{a}{c} = 2$, откуда $d = 4c$ и $a = 2c$. Из рисунка видно, что график функции проходит через точку $(-2; -1)$. Подставив всю известную информацию в уравнение функции, получим $-1 = \frac{2c \cdot (-2) + b}{c \cdot (-2) + 4c} - 1 = \frac{-4c + b}{-2c + 4c} \Leftrightarrow b = 2c$, следовательно, $f(x) = \frac{2cx + 2c}{cx + 4c} = \frac{2x + 2}{x + 4}$, а $f(6) = \frac{14}{10} = 1,4$.

Способ 2: Введём новую систему координат, так что оси будут направлены вдоль асимптот исходной функции (рис. 18).

В этой системе координат наш график является графиком обратной пропорциональности

$y = \frac{k}{x}$. В новой системе координат график проходит через точку с координатами $(2; -3)$, значит $-3 = \frac{k}{2} \Leftrightarrow k = -6$, получаем $y = -\frac{6}{x}$.

График искомой функции получается линейными преобразованиями функции $y = -\frac{6}{x}$, а именно сдвигом на 4 единицы влево и на 2 вверх, то есть искомая функция имеет вид $y = -\frac{6}{x+4} + 2 = \frac{2x+2}{x+4}$, а $f(6) = \frac{14}{10} = 1,4$.

Ответ: 1,4.

Задача 13. На рисунке 19 изображён график функции вида $f(x) = a \cos x + b$. Найдите значение a .

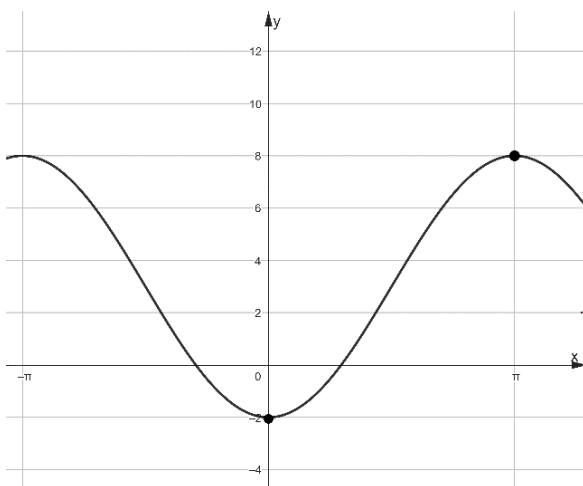


Рис. 19

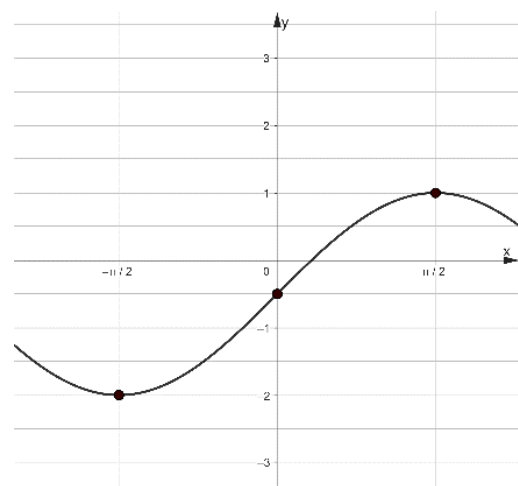


Рис. 20

Решение: Способ 1. Найдём координаты точек, через которые проходит график функции, $(0; -2)$, $(\pi; 8)$ и решим систему, подставив их в уравнение функции $\begin{cases} -2 = a \cdot \cos 0 + b \\ 8 = a \cdot \cos \pi + b \end{cases} \Leftrightarrow \begin{cases} a = -5 \\ b = 3 \end{cases}$, значит, искомая функция имеет вид $f(x) = -5 \cos x + 3$.

Способ 2. Коэффициент a у искомой функции отвечает за сжатие-растяжение графика функции вдоль оси Oy . Мы видим, что амплитуда u графика, изображённого на рисунке, равна 10 и делаем вывод, что $2|a| = 10$, то есть $a = 5$ или $a = -5$, чтобы выбрать нужное

значение, заметим, что в точке 0 у изображённой функции достигается минимальное значение, тогда как у обычной функции $y = \cos x$ точка 0 является точкой локального максимума, значит, график был не только растянут вдоль оси Oy , но и симметрично отражён относительно оси Ox , а коэффициент $a = -5$. Последнее преобразование графика – сдвиг на 3 вверх, значит, искомая функция имеет вид $f(x) = -5 \cos x + 3$. Ответ: -5.

Задача 14. На рисунке 20 изображён график функции вида $f(x) = a \sin x + b$. Найдите значение $f\left(\frac{7\pi}{6}\right)$.

Решение: График искомой функции – синусоида, растянутая в 1,5 раза и сдвинутая на 0,5 вниз, то есть функция имеет вид $f(x) = 1,5 \sin x - 0,5$, $f\left(\frac{7\pi}{6}\right) = 1,5 \sin \frac{7\pi}{6} - 0,5 = -1,25$.
Ответ: -1,25.

Мы видим, что для успешного решения задач на тему “Графики функций” учащийся должен не только быть знакомым с графиками элементарных функций, а ещё и моделировать реальные ситуации на языке алгебры, составлять уравнения и системы уравнений по условию задачи; исследовать построенные модели с использованием аппарата алгебры, быть знакомым с элементарными преобразованиями графиков функций.

Литература

1. Шестаков С.А., Ященко И.В. ЕГЭ Математика. Функции и их графики. Задача 10, профильный уровень. Рабочая тетрадь. ФГОС – М.: МЦНМО, 2023. – 140с.
2. <https://ege.fipi.ru/bank/>
3. <https://ege.sdamgia.ru/prob-catalog>

MIKHAILOVA Ekaterina Vladimirovna

Senior lecturer of the Department of "Mathematics",
SUNC of the Bauman Moscow State Technical University;
mathematics teacher, Bauman Engineering School No. 1580,
Russia, Moscow

TASK NO. 10 ON THE TOPIC "GRAPHS OF FUNCTIONS" OF THE UNIFIED STATE EXAM IN MATHEMATICS OF THE PROFILE LEVEL OF 2023

Abstract. In 2022, task №10 on the topic "Graphs of functions" appeared in the variants of the Unified state exam in mathematics of the profile level. According to the graph of the function, which is given in the condition, it is necessary to determine unknown parameters in its formula and, possibly, to find the value of the function at some point or coordinates of the intersection point of the graphs of functions. The article examines the main ways to solve problems of this type.

Keywords: mathematics, USE, profile level, function, function graph.

БИОЛОГИЯ

ХАКИМОВА Парвина Шавкатовна

магистрант, Худжандский государственный университет имени Б. Гафурова,
Таджикистан, г. Худжанд

АШУРОВА Дилноза

магистрант, Худжандский государственный университет имени Б. Гафурова,
Таджикистан, г. Худжанд

ИБРАГИМОВА Мехрангез Неъматҷоновна

магистрант, Худжандский государственный университет имени Б. Гафурова,
Таджикистан, г. Худжанд

ЭРГАШЕВА Эътибор Абдуллоевна

канд. биол. наук, старший преподаватель кафедры ботаники и физиологии растений,
Худжандский государственный университет имени Б. Гафурова, Таджикистан, г. Худжанд

ТАШХИСИ ХУСУСИЯТҶОИ МОРФОБИОЛОГӢ ВА РОҶҶОИ БАЛАНД БАРДОШТАНИ ҶОСИЛНОКИИ РАСТАНИИ ПАХТА

***Аннотация.** В статье рассматриваются важные пути повышения активности фотосинтеза растений, его эффективности, установление связи между фотосинтезом и продуктивностью, использование правильной технологии разведение и выращивание большого урожая растений хлопчатника.*

***Ключевые слова:** сельское хозяйство, основные и важные культуры, хлопчатник.*

Барои ҳалли ин масъала бояд пеш аз ҳама муносибатҳои байниҳамдигарии органҳои растани пахтаро дар натиҷаи омӯхтани хусусиятҳои физиологӣ ва биохимиявӣ муайян кардан лозим аст. Пас, аз муайян кардани тақсимшавии ассимилятҳо дар узвҳои растани, ҳосили органҳои вегетативӣ, ҳаҷми органҳои вегетативӣ, ҳаҷми органҳои тақсимшудани ассимилятҳоро дар узвҳои растани пахта ба назар гирифта, бо роҳи селекция навъҳои нави пахтаи серҳосилро баровардан лозим аст. Кишоварзӣ - ин фалсафаи пайдоиш, пойдоршавӣ ва инкишофи ҷомеаи инсонӣ мебошад. Зеро, кишоварзӣ яке аз қадимтарин ва асоситарин сарчашмаи ҳаёти инсон буда, ҷомеаро ҳамеша бо неъматҳои моддӣ ва мардумро бо ҳуроку пӯшок таъмин менамуд ва менамояд.

Замин манбаи ҳамаи неъматҳои моддии инсон аст. Пайдоиш ва ривочу равнақи саноат низ ба кишоварзӣ вобаста аст. Барои қонеъ гардонидани талаботи рӯзафзуни ҷомеа бо маводи кишоварзӣ мо бояд роҳҳои нав ба нави

самаранок гардонидани соҳаҳои онро ҷустуҷӯ намоем. Аз он ҷаҳат, ки инсон худро бишнохт, дар баробари офтоб ва обу ҳаво замин як чизи муқаддас ва омили беҳамтои зист пазируфта шуд, он манбаи кишту кор ва зироат буд. Имкониятҳои кишоварзии Тоҷикистон ба қонеъии бемислу монанде соҳиб гардида буданд. Табиат ба мо сарвати зиёде муҳайё намунадааст. Қариб 300 рӯзи офтобӣ, боду ҳавои муътадил, дарёҳои сершумору пуроб, заминҳои ҳосилхези водӣҳои беканору доманакуҳҳо омили фаровонӣ ва неқӯаҳволии мардуми мо мебошанд.

Мувофиқи қонуни бақои энергия ва модда агар аз ҳок моддаҳои ғизоӣ тавассути нашъунамо ва сабзиши зироатҳо гирифта шаванду он моддаҳо бозгардонида нашаванд, он гоҳ ҳосилхезии замин паст мешавад. Таркиби асосии замини зарҳез ин гумус - моддаи органикии ҳок мебошад. Гумус зарраҳои ҳокро бо хам пайваст намуда, қобилиятҳои нигоҳдории моддаҳои ғизоӣ - нитроген, фосфор, калий ва

дигар унсурҳои кимиёвӣ, инчунин обро дар хок пайдо мегардонад. Пахтакорони забардаст комёбиҳои илмро дар амал татбиқ намуда, ҳосили “тиллоӣ сафед”-ро аз ҳар гектар то 50 сентнер расонидаанд. Дар солҳои охир бо сабаби тағйир ёфтани системаи хоҷагидорӣ ва пешрафти интенсификации хоҷагии кишоварзӣ зарурият пайдо шуд, ки навҳои серҳосили зироатҳои кишоварзӣ ихтироъ карда шаванд. Дар Тоҷикистони шимолӣ яке аз зироатҳои асосӣ ва аҳамиятнок, ки баланд бардоштани неқӯахволии халқамонро таъмин мекунад, ин зироати пахта аст. Аз ин лиҳоз, баровардани навҳои пахтаи серҳосил ва тезпазак барои кишоварзӣ Тоҷикистони шимолӣ ниҳоят зарур мебошад.

Пахтакорӣ дар Тоҷикистони шимолӣ яке аз соҳаҳои муҳими кишоварзӣ ба ҳисоб меравад. Пахта, барги он, поя ва дигар қисмҳои ин зироат ба ҳамаи соҳаҳои гуногуни хоҷагии халқ маводи зарурӣ буда, барои талаботи инсонро қонеъ гардонидан истифода бурда мешавад. Пахта нафақат талаботи инсонро қонеъ мегардонад, балки барои бехтар кардани шароити иқтисодии давлат сабаб мегардад. Бинобар ин зироати пахтаро аз давраҳои қадим инсон кишт мекунад ва онро дар ихтиёри худ истифода мекунад. Табиати моро ихотакарда хеле мураккаб аст, ки ҳамаи узвҳои он дар инкишофи пай дар пай буда, онҳо бо ҳам алоқаманд ташаккул меёбанд. Инсон, ки худ маҳсули табиат мебошад ва дар байни қабати биотикӣ бошуури худ аз дигар организмҳои зинда фарқ мекунад, бо табиат муносибати наздик дошта ганҷинаҳои онро чун манбаи зиндагӣ истифода мекунад. Ҳоло инсон барои эҳтиёҷоти худ миқдори азими неъматҳои моддӣ, майдони калони замин, миқдори зиёди об, ҳаво, олами набототу ҳайвонот ва дигар боигариҳои табииро истифода мебарад.

Барои қонеъ гардонидани талаботи рӯзафзуни ҷомеа бо маводи кишоварзӣ, мо бояд роҳҳои нав ба нави самаранок гардонидани соҳаҳои онро ҷустуҷӯ намоем. Дар ояндаи наздик маҳсулнокии кишоварзӣ ду -се маротиба афзун хоҳад гардид. Имкониятҳои кишоварзӣ Тоҷикистон ба комёбиҳои бемислу монанде соҳиб гардида истодаанд. Табиати он ба мо сарвати зиёда муҳайё намудааст. Дар замони ҳозира бисёр зарур аст, ки барои боло бардоштани соҳаи кишоварзӣ навҳои пахтаҳои тезпазак бисёрҳосилдихандаро кишт кунанд. Тамоми энергияе, ки ба сайёраи мо аз Оғтоб меояд, биосфера онро бо воситаи ҷараёни ниҳоят нодир - фотосинтез (фото- рӯшноӣ, синтез-ҳосил намудан) қабул менамояд. Фотосинтез муҳимтарин ҷараёнест, ки дар натиҷаи он растаниҳои сабз микроорганизмҳои

фотосинтезкунанда ва пайвастиҳои ғайриорганикӣ (гази карбонат ва об) бо таъсири рӯшноӣ пайвастиҳои мураккаби органикӣ барои ҳаёти мавҷудоти зинда зарурро ба вуҷуд меоранд. Ҳангоми фотосинтез растаниҳо ба атмосфера оксиген ҷудо карда, энергияи оғтобро дар шакли энергияи бандҳои химиявӣ захира менамоянд. Дар натиҷаи фурубарии рӯшноӣ Оғтоб растаниҳои сабз аз моддаҳои ғайриузвӣ (CO_2 ва H_2O) маводи узвӣ (қанд) ҳосил менамоянд ва дар натиҷа энергияи рӯшноӣ ба энергияи кимиёвӣ табдил ёфта, оксиген хориҷ мегардад. Ҳар сол дар қураи Замин растаниҳо зиёда аз 150 млн. тонна қанд ҳосил менамоянд. Доир ба фотосинтез мутафаккирони бузург Арасту ва Абӯали ибни Сино фикрҳои худро доир ба ин масъала дар асарҳои худ қайд намуда буданд. Дар омӯзиши фотосинтез саҳми олими бузург рус К.А.Тимирязев, ки аввалин шуда аҳамияти хлорофиллро дар фотосинтез муайян намуд, калон аст. Ҷӯид ба ин масъала тадқиқотҳои вазеи илмӣ гузаронид ва бори дигар тасдиқ намуд, ки бе фотосинтез мувофиқи қонуни бақои энергия ҳаёт дар рӯи Замин вуҷуд надорад. Фотосинтез бо кӯмак ва иштироки ферментҳои гуногун гузашта, реаксияҳои пайдарпаи зиёдеро дар бар мегирад. Фотосинтез ягона ҷараёни биологӣест, ки бо афзоиши энергияи озод мегузарад ва тамоми мавҷудоти зиндаи рӯи заминро бо энергияи химиявӣ таъмин мекунад. Нигоҳ доштан, афзудан ва самаранок истифода бурдани самарабахшии фотосинтези растани масъалаи асосии табиатшиносии муосир ва инсоният аст. Зиёд намудани фаъолияти фотосинтези растани яке аз роҳҳои муҳими самарабахшии он аст.

Ҳангоми ташҳиси қонуниятҳои ташкилӣ ба ҳосилнокӣ дар растани пахта солҳои охир ба омӯзиши хусусиятҳои муҳими тақсимшавӣ ва истифодабарии ҳосили фотосинтез дар растани аҳамияти ҷиддӣ дода истодаанд. Ташҳиси ҷамъшавӣ ва тақсимшавии биомасса дар узвҳои растани имконияти гирифтани маълумотҳои гуногун доир ба физиологияи генотип дар навҳои омӯхташавандаро нишон медиҳад. Барои баровардани навҳои умедбахши пурмаҳсул бояд хусусиятҳои физиологияи ин навҳоро, хусусан тезпазӣ, устуворӣ ба сармо ва ба хушқиро доништан зарур аст. Омӯзиши ҳосилнокии тозаи фотосинтез, баҳодихии самаранокӣ кори ассимиляцияи баргҳо ва тақсимшавии биомассаи хушкӣ дар растаниҳои пахта, ки нишондихандаи асосӣ мебошад, дар навҳои пахтаи Флора, Кармен ва Қирғиз - 5 омӯхта мешавад. Дар вақти ташҳиси қонуниятҳои ташкилӣ ба ҳосилнокӣ дар растани пахта солҳои охир ба омӯзиши хусусиятҳои

мухити тақсимшавӣ ва истифодабарии ҳосили фотосинтез дар растанӣ аҳамияти зиёд дода истодаанд. Ба қор бурдани тадбирҳои гуногуни агротехники ба инкишофи системаи реша, қисми рӯи заминии ниҳол ва инчунин ба ҳосили пахта таъсир мекунад. Бинобар ин, омӯхтани инкишоф ва сохти системаи реша ба қор бурдани технологияи дурусти парвариши растании пахта ва рӯёнидани ҳосили зиёди пахта аҳамияти калон дорад.

Дар охир ҳаминро бояд қайд намудан лозим аст, ки ҳосилнокии биологии ниҳоли пахта аз нишондиҳандаҳои вазни қисмҳои вегетативию узвҳои он ва вазни нахи пахта иборат мебошад. Растании пахта дорои хусусиятҳои баланди маҳсулнокии биологӣ мебошад. Ташхиси нишондодҳои, ки дар адабиёти имрӯза гирд оварда шудааст, онро нишон медиҳад, ки омӯзиши физиологии асосҳои ҳосилнокии баланди биологии пахта, тадқиқотҳои махсус ниҳоят хело кам бахшида шудааст, ки ин масъала ҳанӯз то охир аниқ қарда нашудааст ва тадқиқотҳои таҷрибавии махсусро талаб мекунад.

Пайнавишт

1. Абдуллаев Х.А. Физиологическая генетика фотосинтеза и продуктивность растений. - Душанбе, 1990. - 53с.
2. Абдуллаев Х.А., Каримов Х.Х., Бурнашев Ш.Т. «Оценка эффективности ассимиляционной работы листьев как физиологический тест - признак в селекции хлопчатника»/ Физиологические тесты в селекции растений. - Душанбе: Дониш, 1994. - С.24-33.
3. Абдуллаев Х.А., Каримов Х.Х., Бободжнова М.Д. Морфобиологические особенности растений хлопчатника при частичном удалении плодовых органов. - Актуальные проблемы и перспективы. - Душанбе, 2004. - С.49-50.
4. Асроров К.А. Сравнительное изучения фотосинтетической деятельности и продуктивности хлопчатника, кукурузы, сорго: Автореф. канд. биол. наук. - Душанбе, 1974. - 29 с.
5. Кумаков В.А., Коррелятивные отношения между органами растения в процессе формирования урожая. Физиология растений. 1980 т 27, №5 С. 75-84.
6. Мокроносов А.Т. Фотосинтетическая функция и целостность растительного организма: - М.: Наука, 1983. 64 с.

NAKIMOVA Parvina Shavkatovna

Master Degree Student, Khujand State University named after Academician Bobojon Gafurov, Tajikistan, Khujand

ASHUROVA Dilnoza

Master Degree Student, Khujand State University named after Academician Bobojon Gafurov, Tajikistan, Khujand

IBRAGIMOVA Mehrangez Nematjonovna

Master Degree Student, Khujand State University named after Academician Bobojon Gafurov, Tajikistan, Khujand

ERGASHEVA Etibor Abdulloevna

can. biol. sci., senior lecturer of the department of botany and plant physiology, Khujand State University named after Academician Bobojon Gafurov, Tajikistan, Khujand

DIAGNOSTICS OF MORPHOBIOLOGICAL SIGNS AND WAYS TO INCREASE COTTON PRODUCTIVITY

Abstract. The article discusses important ways to increase the activity of plant photosynthesis, its efficiency, establishing a relationship between photosynthesis and productivity, using the right breeding technology and growing a large crop of cotton plants.

Keywords: agriculture, main and important crops, cotton, high-yielding varieties of cotton.

ХАКИМОВА Парвина Шавкатовна

магистрант, Худжандский государственный университет имени Б. Гафурова,
Таджикистан, г. Худжанд

АШУРОВА Дилноза

магистрант, Худжандский государственный университет имени Б. Гафурова,
Таджикистан, г. Худжанд

ИБРАГИМОВА Мехрангез Неъматҷоновна

магистрант, Худжандский государственный университет имени Б. Гафурова,
Таджикистан, г. Худжанд

ЭРГАШЕВА Эътибор Абдуллоевна

канд. биол. наук, старший преподаватель кафедры ботаники и физиологии растений,
Худжандский государственный университет имени Б. Гафурова, Таджикистан, г. Худжанд

**ХУСУСИЯТҶОИ ТАҚСИМШАВИИ АССИМИЛЯТҶО ДАР ДАВРАҶОИ
НАШЪУНАМОИ РАСТАНИИ НИҶОЛИ ПАХТА**

Аннотация. В статье раскрывается концепция диагностики закономерностей формирования урожая хлопчатника, изучение важных особенностей распределения и использования производных фотосинтеза в растении.

Ключевые слова: сельское хозяйство, основные и важные культуры, хлопчатник.

Инсон барои эҳтиёҷоти худ миқдори азими неъматҳои моддӣ, майдони калони замин, миқдори зиёди об, ҳаво, олами набототу ҳайвонот ва дигар боигариҳои табииро истифода мебарад. Пахта растани бисёрсола буда, дар зироаткорӣ ҳамчун растани яксола парвариш карда мешавад. Дар растани пахта ду намуди шохаҳо, яъне шохаҳои сабзишӣ ва меваовар инкишоф меёбанд. Дар шароити бағоят мусоид пахта хеле хуб инкишоф ёфта метавонад. Солҳои охир ҳангоми ташхиси қонуниятҳои ташаккулёбии ҳосил дар растани пахта, ба омӯзиши хусусиятҳои муҳими тақсимшавӣ ва истифодабарии ҳосилаи фотосинтез дар растани аҳамияти ҷиддӣ дода мешавад. Ташхиси ҷамъшавӣ ва тақсимшавии биомасса дар узвҳои растани имконияти гирифтани маълумотҳои гуногунро доир ба физиологияи ҳосилнокии генотип ва навҳои омӯхташаванда медиҳад. Хусусиятҳои баъзе тарафи фаъолияти фотосинтезикии растани, муносибати донору аксептори байни узвҳои ассимилятсиякунанда ва истеъмолкунандаи ҳосилаи фотосинтез, ҳосилнокии потенциал ва хусусиятҳои истеъмолкунии узвҳои ҳосилбандӣ ба

ташаккулёбии ҳосилнокии хоҷагии зироатҳо зич вобаста мебошад. Ғайр аз ин хусусиятҳои тақсимшавии ассимилятҳо яке аз сабабҳои асосии фарқият дар ҳаҷми ҳосилнокии биологӣ ва хоҷагӣ дар навҳои гуногуни растани пахта мегардад.

Роҳҳои истифодабарии ассимилятҳо дар растани дида мебароем. Дар давраи онтогенез рушду нумӯи растаниҳо, дар аввали марҳилаи инкишоф, вақте ки асосан реша ташаккул меёбад ва дигар нуктаи қабулкунандаи ассимилятҳо мавҷуд нест, маводҳои фотосинтез ба реша меравад. Дар он растаниҳо, ки қисми асосии ассимилятҳо барвақт барои расиш ва инкишофи узвҳои фотосинтезнакунанда, яъне шохрони равона карда шаванд ва онҳо одатан хусусиятҳои баланди ассимилятсиякунӣ надоранд, ташаккулёбии барг дар ин растаниҳо кам буда, ҳосилнокии хоҷагӣ низ хело паст мебошад.

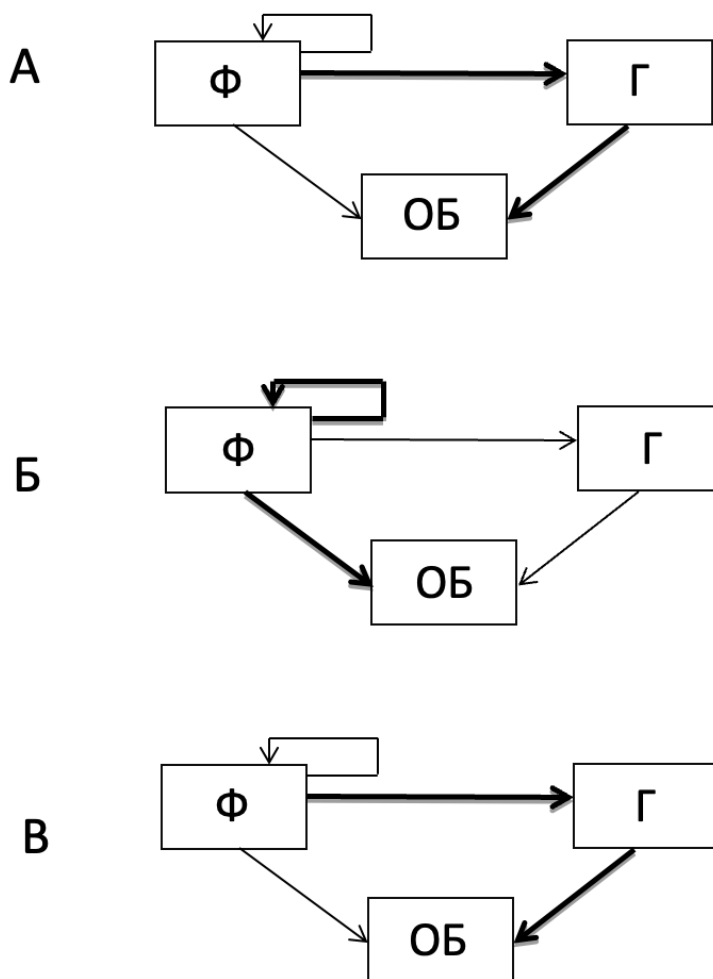
Нақшаи боз ҳам мураккабшудаи роҳҳои истифодабарии ассимилятҳо дар синтези “донори - аксепторӣ” дар намуди диаграммаи Форрестер дар корҳои илмии Б.И. Гуляев (1983) ҷой гирифтааст, ки дар он чунин факторҳои

ҳосилнокӣ ба эътибор гирифта шудааст: чӣ гуна дуоксиди карбон ба растанӣ дохил мешавад, муҳтоҷнокӣ ба шиддатнокии рӯшноӣ ва муқобилияти диффузияи CO₂ ба барг, кам шудани дуоксиди карбон дар раванди нафаскашии торикӣ, ки аз нафасканшии қадқашӣ ва нафаскашии ёрдамчӣ иборат мебошад, манбаи ассимилятҳое, ки ҳангоми раванди фотосинтез ҳамъ мешаванд ва онҳо барои тараққиёт, рушду нумӯи растаниҳо истифода бурда мешавад, чараёни як қисми карбон, ки ба компонентҳои узвҳои вегетативию генеративӣ равона карда мешавад, роҳҳои ба вуҷуд омадани барномаҳои генетикию эпигенезии узвҳои алоҳидаи растанӣ, алокаи баргардандагӣ доштани вақти биологӣ, суръати пиршавии қисмҳои алоҳидаи узвҳои вегетативӣ, баргардандагии чараёни қисми карбон ба манбаи ассимилятҳо, ки ба тақсимшавии моддаҳои захирагӣ муҳтоҷ аст, таъсири ҳарорат, дар таркиби растанӣ мавҷуд будани нитроген ва нарасидани об ва муҳтоҷӣ ба он дар раванди ҳосилбандӣ омӯхта шудааст.

Роҳҳои истифодабарии ассимилятҳоро дар растанӣ дида мебароем. Дар давраи онтогенез растаниҳо, дар аввали марҳилаи инкишофӣ, вақте ки асосан реша ташкил меёбад ва дигар нуқтаи қабулқунанда нест, тақсимшавӣ дар растанӣ аз рӯи нақша А (Расми 1) меравад. Аз аввали ташкил ва инкишофи сатҳи барг, истифодабарии ассимилятҳо ба тарафи барг равона карда мешавад, Б (Расми 1) Вобаста ба меъёри пиршавии растаниҳо истифодаи ассимилятҳо дар узвҳои растанӣ, ки дорои хусусияти фотосинтезқунанда надоранд, бисёртар равона карда мешаванд. В (Расми 1) Дар растаниҳои гуногун дар давоми давраи ташкил ва инкишофи онҳо афзалиятнокиашон ба ин ё он роҳҳои истифодабарии ассимилятҳо равона мешавад.

Растаниҳо ҳамон вақт дорои ҳосилнокии баланд мегарданд, агар қисми зиёди маҳсули фотосинтез барон ташкил ва инкишофи баргҳои нав равона карда шавад.

Тақсимшавии ассимилятор дар растаниҳои мазкур аз руи нақшаи Б (Расми 1) баргузор мегардад.



Расми 1. Нақшаи роҳҳои истифодабарии ассимилятҳо (А-Б-В) дар давоми нашъунамои (вегетатсия) растаниҳо. (Багаутдинова М.Р.)

Ф - узвҳое, ки хусусияти фотосинтезкунанда доранд.

Г - узвҳое, ки хусусияти фотосинтезкунанда надоранд.

ОБ - вазни умумӣ.

Дар он растаниҳое, ки қисми асосии ассимилятҳо барвақт барои расиш ва инкишофи узвҳои фотосинтезкунанда равона шавад, ода-тан дорои хусусиятҳои баланди ассимилятсиякунӣ доранд, аммо ташаккулёбии барг дар ин растаниҳо кам буда, ҳосилнокии биологашон низ хеле паст мебошад.

Дар баъзе намуди тақрибаҳо ташхиси ҳодисаҳои тақсимшавӣ ва аз нав тақсимшавии ассимилятҳо аз руи системаи мураккаби ташхис бо ёрии ҳисобкунии математикӣ ва баъзе тақрибаҳо бо ҳисоб намудани вазни узвҳои растанӣ дар давраи онтогенези онҳо ҷамъбаст карда шуданд. Ин намуди тақрибаҳои тадқиқоти дар зироатҳои гуногуни хоҷагии қишлоқ гузаронида шудааст: дар мисоли растаниҳои лубё-гиҳо, картошка, гандуми баҳорӣ, ҷав ва ғайра гузаронида шудаанд.

Аз руи натиҷаҳои тадқиқотҳои зерин муайян карда шуд, ки ба ҳосилнокии баланди растанӣ роҳи дурусти хусусияти тақсимшавии ассимилятҳо вазифаи муҳимро иҷро менамояд. Дар тақрибаҳои тадқиқотии Х.Х.Каримова ва Р.И.Чернер (1971) нишон дода шудааст, ки ҳосилнокии растаниҳои дар ҳарорати хунук нашъунамоқунандаи Осиёи Миёна ба тақсимшавии ассимилятҳо дар узвҳои растаниҳо вобастагӣ дорад. Ҳангоми саршавии фазаи гулкунӣ - шонабандӣ истифодабарии қисми зиёди маҳсули фотосинтез барои тараққиёти баргу поя аз 40 то 20% кам мешавад ва қисми зиёди ассимилятҳо дар ҳамин давра барои ташкил ва рушду расиши узвҳои репродуктивӣ сарф мешавад. Дар марҳилаҳои ояндаи тараққиёти

растани пахта мушоҳида кардан мумкин аст, ки камшавии қисми ассимилятҳо дар фитомассаи барг (аз 32 то 21%) ва тана (аз 30 то 16%) ва зиёдшавии ассимилятҳо дар узвҳо мевабандӣ (аз 40 то 80 %) ба назар мерасад.

Дар охир ҳаминро бояд қайд намуд, ки нашъунамо ва инкишофи пахта, пеш аз ҳама, ба дараҷаи бо моддаҳои ғизоии зарурӣ таъмин будани он вобаста аст. Омӯхтани моддаҳои ғизоӣ дар хоки пахта қисми таркибии тадқиқоти вобаста ба истифодаи нуриҳои минералӣ ва зичии гуногуни растаниҳо мебошад.

Пайнавишт

1. Абдуллаев Х.А. Физиологическая генетика фотосинтеза и продуктивность растений. - Душанбе, 1990. - 53с.
2. Абдуллаев Х.А., Каримов Х.Х., Бурнашев Ш.Т. «Оценка эффективности ассимиляционной работы листьев как физиологический тест - признак в селекции хлопчатника» / Физиологические тесты в селекции растений. - Душанбе: Дониш, 1994. - С.24-33.
3. Абдуллаев Х.А., Каримов Х.Х., Бободжнова М.Д. Морфобиологические особенности растений хлопчатника при частичном удалении плодовых органов. - Актуальные проблемы и перспективы. - Душанбе, 2004. - С.49-50.
4. Асроров К.А. Сравнительное изучения фотосинтетической деятельности и продуктивности хлопчатника, кукурузы, сорго: Автореф. канд. биол. наук. - Душанбе, 1974. - 29 с.
5. Кумаков В.А. Коррелятивные отношения между органами растения в процессе формирования урожая. Физиология растений. 1980 т 27, №5 С. 75-84.
6. Мокронос А.Т. Фотосинтетическая функция и целостность растительного организма: - М.: Наука, 1983. 64 с.

НАКИМОВА Парвина Шавкатовна

Master Degree Student, Khujand State University named after Academician Bobojon Gafurov,
Tajikistan, Khujand

АШУРОВА Дилноза

Master Degree Student, Khujand State University named after Academician Bobojon Gafurov,
Tajikistan, Khujand

ИБРАГИМОВА Мехранжез Нематжоновна

Master Degree Student, Khujand State University named after Academician Bobojon Gafurov,
Tajikistan, Khujand

ЕРГАСHEVA Этбор Абдуллоевна

can. biol. sci., senior lecturer of the department of botany and plant physiology,
Khujand State University named after Academician Bobojon Gafurov, Tajikistan, Khujand

**CHARACTERISTICS OF THE DISTRIBUTION OF ASSIMILATES
DURING COTTON GROWTH**

***Abstract.** The article reveals the concept of diagnosing the patterns of formation of the cotton crop, the study of important features of the distribution and use of photosynthesis derivatives in the plant.*

***Keywords:** agriculture, main and important crops, cotton, high-yielding varieties of cotton.*

ТЕХНИЧЕСКИЕ НАУКИ

ИБРАГИМОВ Сулейман Даулетович

главный энергетик, АО «Золоторудная Компания ПАВЛИК»,
Казахстан, г. Караганда

РАЗРАБОТКА СИСТЕМЫ АВТОМАТИЧЕСКОГО УПРАВЛЕНИЯ МНОГОДВИГАТЕЛЬНЫМ ЭЛЕКТРОПРИВОДОМ МАГИСТРАЛЬНОГО КОНВЕЙЕРА САУ МЭМК

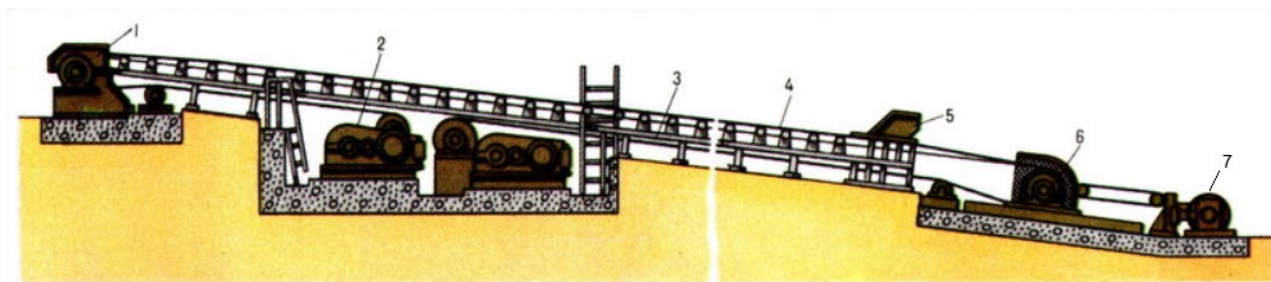
Аннотация. В статье рассматривается разработка и описание алгоритмов управления многодвигательным электроприводом магистрального конвейера.

Ключевые слова: магистральный конвейер, система автоматического управления, электропривод, многодвигательный.

Магистральный конвейер и группа вспомогательных перегрузочных устройств составляют комплекс, используемый для обеспечения рудой обогатительную фабрику, при этом согласованность механизмов и непрерывность подачи является одной из актуальных задач.

Актуальность исследования определяется необходимостью создания систем надежного управления многодвигательным

электроприводом ленточного конвейера для транспортировки рудного материала. Магистральный конвейер относится к не резервируемым системам, поэтому обеспечение бесперебойной работы в пусковых режимах и при продолжительной работе при доставке рудного материала, должно сопровождаться снижением динамических нагрузок и подавлением упругих колебаний.



1 – головной барабан; 2 – многодвигательный электропривод;
3 – став конвейера и роликоопоры конвейера; 4 – лента конвейерная; 5 – загрузочное устройство;
6 – натяжной барабан; 7 – натяжное устройство

Рис. 1. Основные элементы конструкции ленточных конвейеров

В этой связи использование методов математического представления и анализа, описывающих многодвигательную систему магистрального конвейера с использованием асинхронных двигателей с короткозамкнутым ротором и сложной механической структурой, при учете негативных факторов, возникающих

при пуске и движении с разгрузкой материала, является актуальной.

Механическая часть конвейеров представляет собой достаточно сложную систему с распределенными по длине конвейера параметрами: массой перемещаемого груза, массой и упругостью тягового органа, усилием

статического сопротивления. Присутствие упругого элемента в виде резинотросовой ленты определяет степень увеличения динамических нагрузок, что при неблагоприятных условиях таких как запыленность доменных цехов, повышенная влажность или присутствие такого эффекта как науглероживание приводных барабанов, приводит к пробуксовке и нестабильной работе агрегата.

На данный момент наиболее распространенным типом электропривода механизмов непрерывного транспорта является нерегулируемый или регулируемый при помощи многоступенчатого реостата привод переменного тока на основе асинхронных двигателей. Основными недостатками существующих систем электропривода (ЭП) являются:

- большое количество коммутационной аппаратуры для рассматриваемого типа составляет до 18 пусковых ступеней;
- потеря электроэнергии при поддержании жесткости характеристик с использованием добавочных сопротивлений;
- возникновение динамических нагрузок и невозможность их подавления при выгрузке материала на ленту и разгрузке в приемный бункер.

Для обеспечения высокого качества регулирования скорости двигателей и соответственно ленты в избегании пробуксовки и поддержания жесткости 350 механических характеристик, в том числе в области низких скоростей при наладке, необходимо иметь возможность непосредственного управления скоростью и моментом электродвигателя. Одним из способов, удовлетворяющим этим требованиям, является векторное управление электроприводом переменного тока с асинхронным двигателем. Такое управление используется в ЭП, в состав которых входят автономные инверторы напряжения с широтно-импульсной модуляцией (АИН ШИМ), которое позволяет использование

многоступенчатого включения асинхронных двигателей.

В связи с нарастающим внедрением современных способов управления ЭП переменного тока, представляется актуальным построение эффективной системы регулирования для механизма транспортировки сыпучих материалов, которая учитывает особенности его работы. Поэтому разработка математической модели электромеханической системы (ЭМС) электропривода механизма ленточного конвейера и исследования, направленные на разработку и совершенствование систем электропривода, являются актуальной задачей, так как предполагают повышение энергоэффективности и увеличение надежности работы механизма.

Идея работы заключается в создании системы управления многодвигательным электроприводом конвейера, в состав которой включены корректирующие устройства, что позволяет минимизировать воздействие негативных факторов в электромеханической системе.

При разработке автоматизированной системы управления многодвигательным электроприводом магистрального конвейера подземного рудника учитывались:

1. Интеграция с существующей системой автоматизированного управления конвейерной линией (САУКЛ).
2. Размещение систем автоматики в контейнере с системой поддержания микроклимата.
3. Внедрение современных схем управления электроприводом.
4. Построение АСУ согласно архитектуре РСУ.
5. Использование промышленной говорящей связи по длине конвейера для сигнализации.

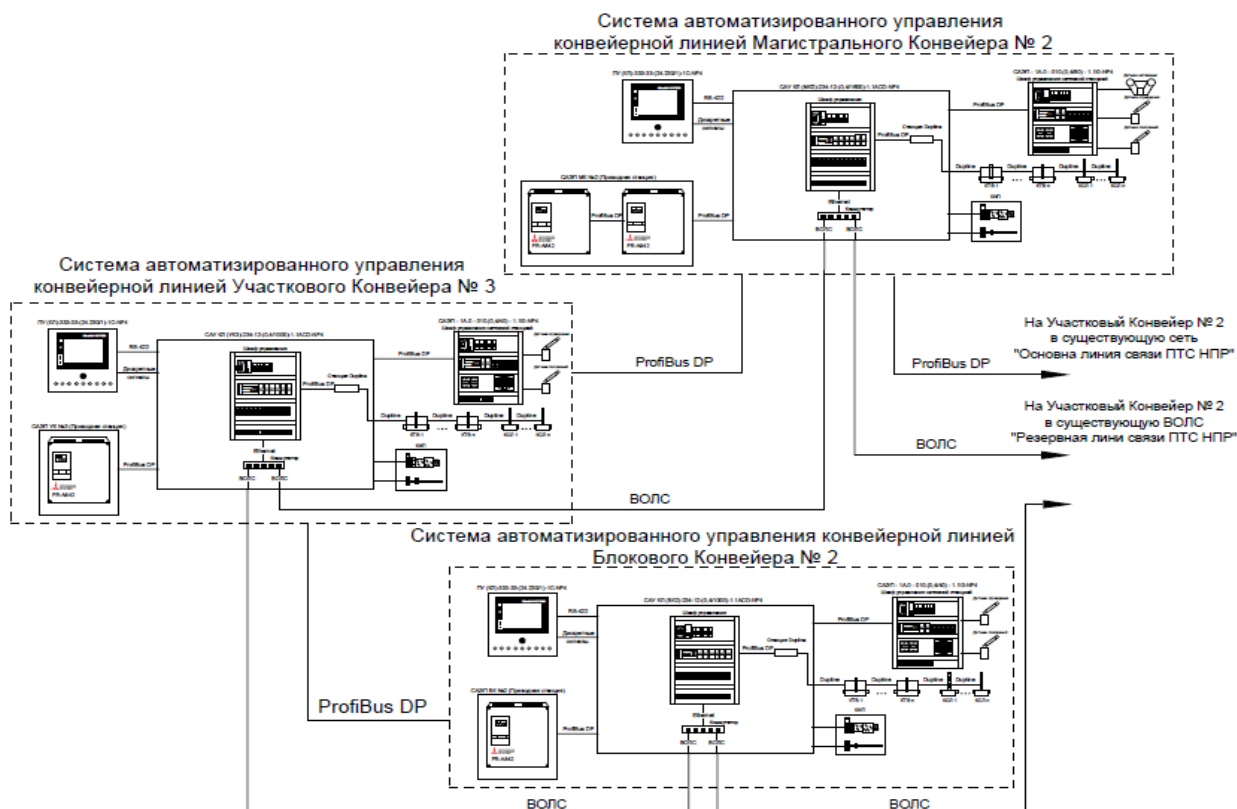


Рис. 2. Структурная схема взаимодействия устройств системы

В целях безопасной, безаварийной работы конвейерного оборудования и системы управления многодвигательным электроприводом магистрального конвейера подземного рудника были предусмотрены технологические защиты и блокировки, безотказная работа которых позволит избежать не только возникновения аварийных ситуаций, но и травмирование персонала подземного рудника.

Структурная схема взаимодействия устройств системы представлена на рис. 2.

Алгоритм запуска, работы и синхронизации системы автоматического управления многодвигательным электроприводом магистрального конвейера для подачи руды рудника (далее – САУ МЭМК).

Одним из важных этапов работы является разработка алгоритмов запуска, работы и синхронизации САУ МЭМК системы управления многодвигательным электроприводом магистрального конвейера подземного рудника.

От этого напрямую зависит работоспособность системы, ее надежность, безопасная, безаварийная и экономичная работа.

При разработке алгоритма необходимо исключить работу многодвигательных систем в ненормальных режимах, в том числе перегруз одного или нескольких двигателей и переход в

генераторный режим. Последний случай наиболее опасен значительными перегрузками двигателей, которые будут нести двойную нагрузку. В этой связи необходимо особое внимание уделить электрическим защитам и блокировкам.

Синхронизацию многодвигательных систем переменного тока можно выполнить несколькими способами:

1. Синхронизация по частоте вращения каждого двигателя с устройством обратной связи на валу каждого двигателя;
2. Синхронизация по току/моменту, возникающему в обмотках статора либо моменту, развиваемому на валу каждого электродвигателя с обратной связью по току;
3. Синхронизация асинхронных электрических машин с фазным ротором с включением в схему ротора общего реостата.

Алгоритмы запуска, работы и синхронизации САУ МЭМК приведены на рис. 3, 4, 5 и 6.

Перед запуском конвейера машинист магистрального конвейера должен убедиться в отсутствии аварийных сигналов.

В меню управления отображаются активированные привода, можно выбрать запуск только одной из станций - отдельно головную или отдельно промежуточную станцию.

Данная опция запуска, как и деактивация одного или нескольких приводов, предусмотрена для ремонтного режима. Выбор приводов, которые запускаются в работу, выбирается при остановленном конвейере, после запуска этого сделать нельзя.

После нажатия кнопки «Старт» происходит запуск предупредительной сигнализации, после её окончания происходит запуск маслонасосов и вентиляторов охлаждения масла редукторов головной станции. Если запуск маслонасосов и вентиляторов прошёл успешно, подаётся сигнал запуска приводов головной и промежуточной станции.

Если активированы все 4 привода головной станции, то скорость, заданная для конвейера, передаётся ПЧ 1, его скорость с поправкой после ПИД регуляторов передается приводам 2 и 3. Скорость привода 3 с поправкой после ПИД регуляторов передается приводу 4. (привода 1 и 2 находятся на одном валу, привода 3 и 4 находятся на одном валу).

Если привод 1 деактивирован, то скорость конвейера передаётся приводу 2, его скорость с поправкой после ПИД регулятора передаётся приводу 3, скорость привода 3 передаётся с поправкой после ПИД регулятора приводу 4.

При деактивации привода 3 скорость приводу 4 передаётся от первого, или второго ПЧ, если первый деактивирован.

Если деактивированы ПЧ 1 и 2, то скорость конвейера передаётся ПЧ 3, а его скорость с поправкой после ПИД регулятора передаётся приводу 4.

После запуска постоянно происходит подсчёт средней нагрузки головной станции, данный показатель сравнивается в ПИД регуляторе со средней нагрузкой промежуточной станции. ПИД регулятор приводных станций даёт поправку скорости для промежуточной станции.

Если активированы все 4 привода промежуточной станции, то скорость, заданная промежуточной станции, передаётся ПЧ 7, его скорость с поправкой после ПИД регуляторов передается приводам 8 и 5. Скорость привода 5 с поправкой после ПИД регуляторов передается приводу 6. (привода 5 и 6 находятся на одном валу, привода 7 и 8 находятся на одном валу).

Если привод 7 деактивирован, то скорость конвейера передаётся приводу 8, его скорость с поправкой после ПИД регулятора передаётся приводу 5, скорость привода 5 передаётся с поправкой после ПИД регулятора приводу 6.

При деактивации привода 5 скорость приводу 6 передаётся от седьмого, или восьмого ПЧ, если седьмой деактивирован.

Если деактивированы ПЧ 7 и 8, то скорость промежуточной станции передаётся ПЧ 5, а его скорость с поправкой после ПИД регулятора передаётся приводу 6.

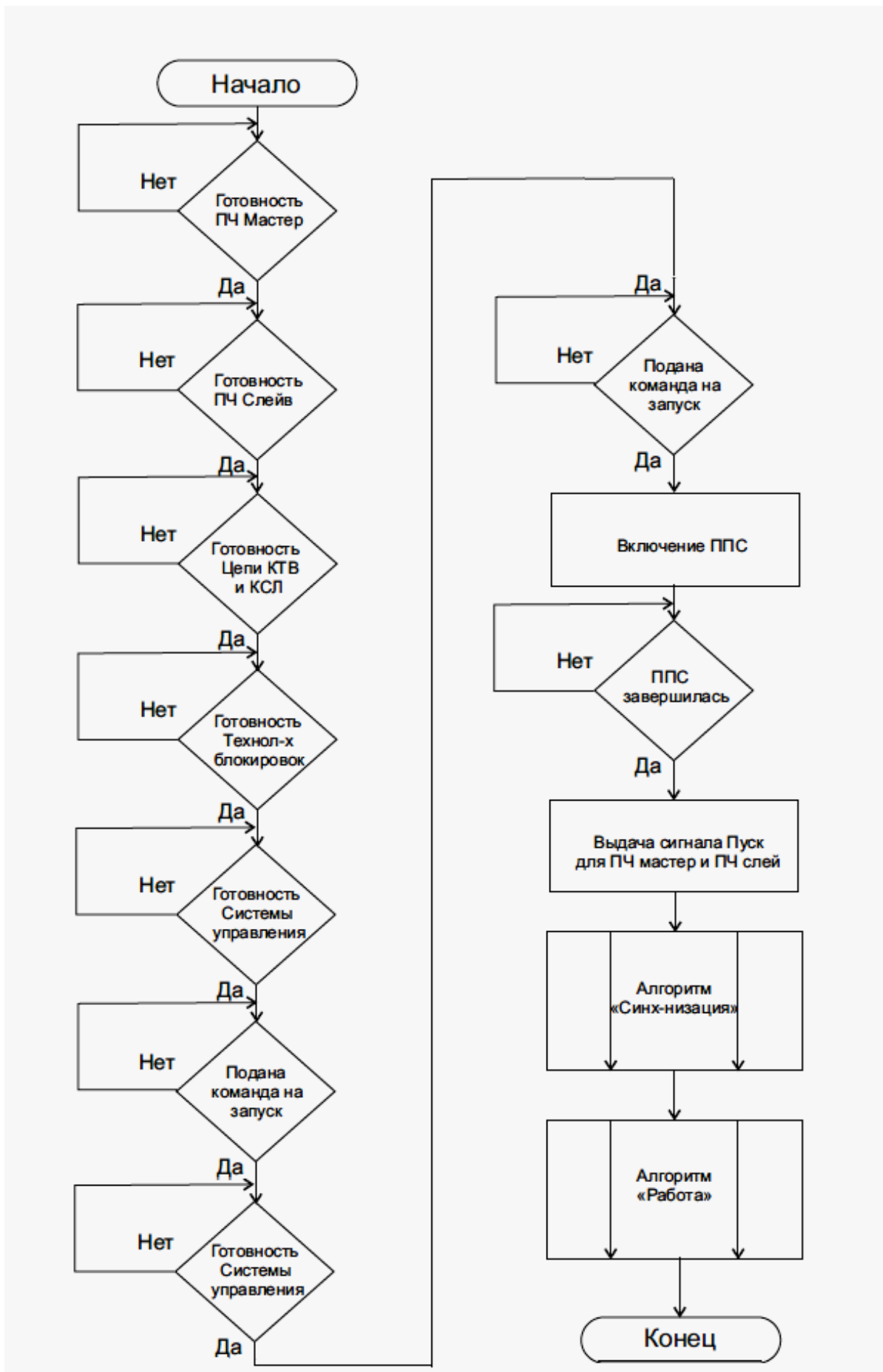


Рис. 3. Алгоритм запуска САУ МЭМК

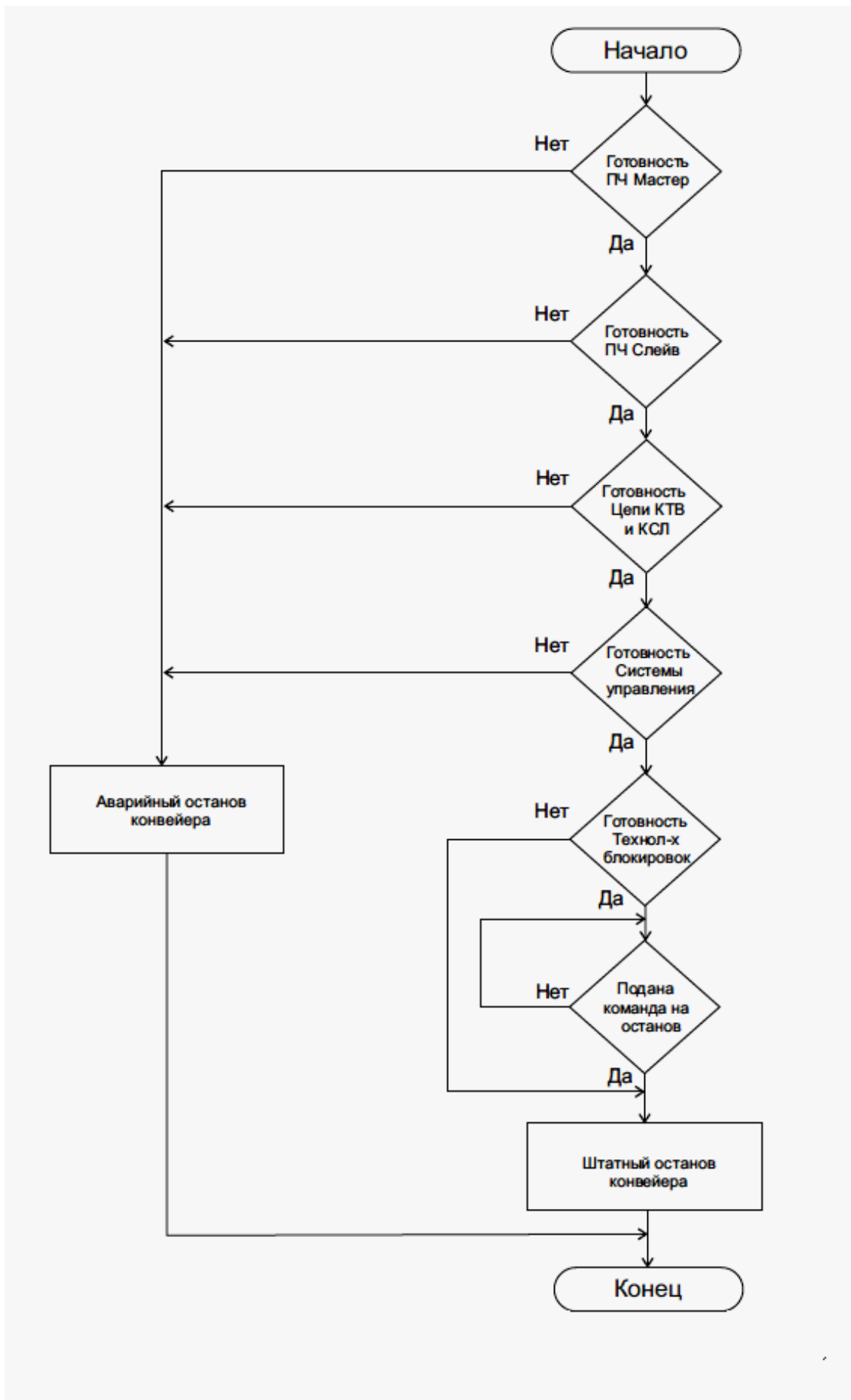


Рис. 4. Алгоритм работы САУ МЭМК

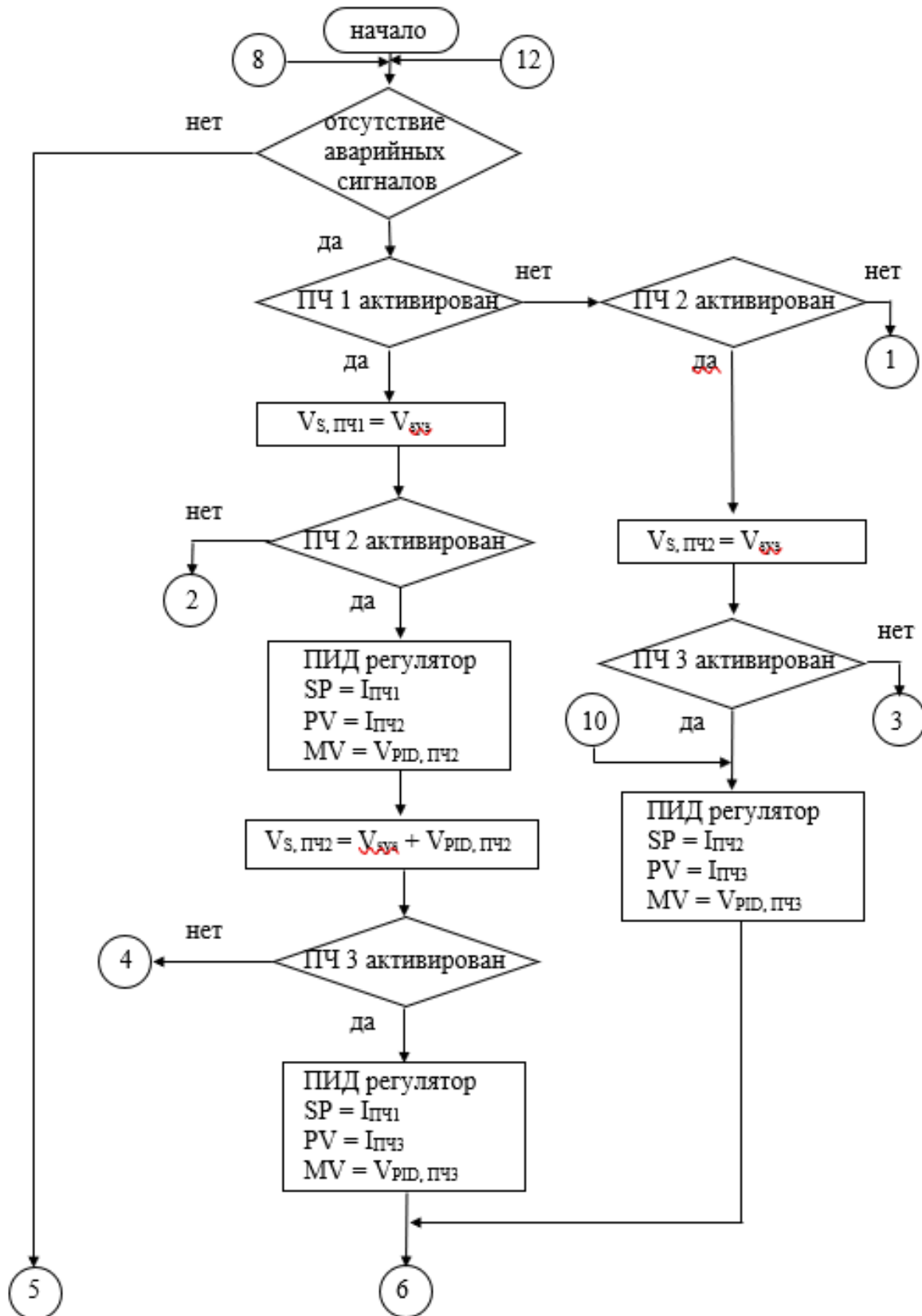


Рис. 5. Алгоритм синхронизации САУ МЭМК (начало)

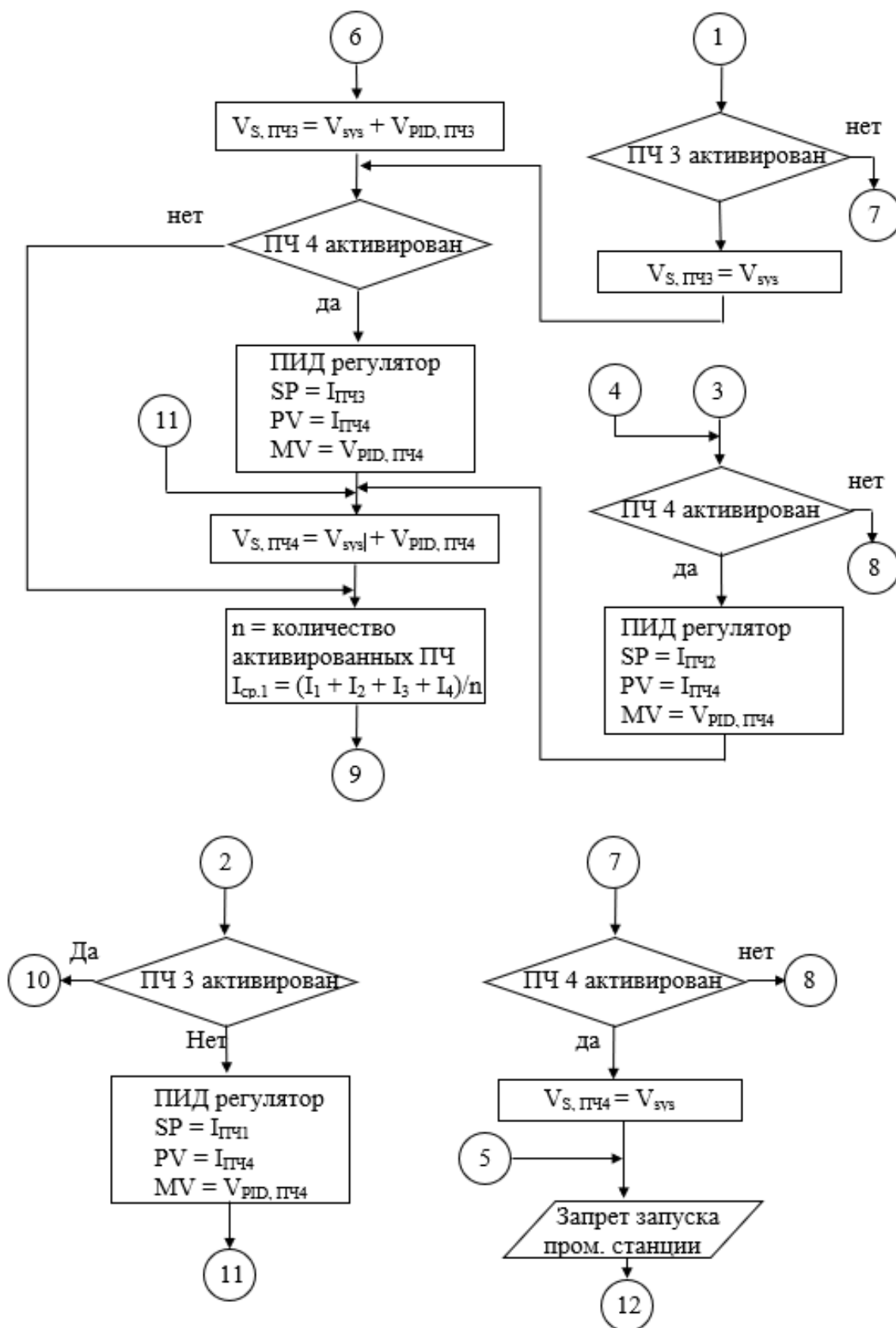


Рис. 6. Алгоритм синхронизации САУ МЭМК (продолжение)

Алгоритмы запуска, работы и синхронизации САУ МЭМК отвечают за правильную работу и срабатывания защит. Перед запуском конвейера машинист магистрального конвейера

должен убедиться в отсутствии аварийных сигналов. В меню управления отображаются активированные привода, можно выбрать запуск только одной из станций – отдельно головную

или отдельно промежуточную станцию. Данная опция запуска, как и деактивация одного или нескольких приводов, предусмотрена для ремонтного режима. Выбор приводов, которые запускаются в работу, выбирается при остановленном конвейере, после запуска этого сделать нельзя.

В результате, после внедрения САУ МЭМК на подземном руднике были решены следующие задачи:

1. Увеличена производительность рудника с 800 т/ч до 1200 т/ч;
2. Уменьшено плечо откатки руды самоходной техникой, работающей на дизельном топливе, у которой выше удельные затраты на доставку руды;
3. Улучшена вентиляция на подземном руднике в связи с сокращением самоходной техники, работающей на дизельном топливе;
4. Значительно уменьшилось число отказов и аварийных остановок в работе автоматизированной системы управления многоприводным магистральным конвейером.

Как результат, на подземном руднике снизилась себестоимость и увеличилась производительность добычи руды. Уменьшилось количество обслуживающего персонала, за счет сокращения самоходной техники и не пришлось увеличивать технологический персонал на обслуживание конвейера, так как произошло удлинение магистрального конвейера.

В целом подземный рудник стал справляться с плановыми показателями, работает ритмично и экономично. Следует отметить профессионализм руководящего состава рудника и их приверженность к изменениям в технологии и схеме доставки руды.

Учитывая, что добыча полезных ископаемых подземным способом требует постоянного продвижения горных выработок по мере проходки, в будущем необходимы будут иные решения по схеме доставки руды и выдачи вскрышных пород.

IBRAGIMOV Suleiman Dauletovich

Chief Power Engineer, PAVLIK Gold Ore Company JSC,
Kazakhstan, Karaganda

DEVELOPMENT OF AN AUTOMATIC CONTROL SYSTEM FOR A MULTI-MOTOR ELECTRIC DRIVE OF THE MAIN CONVEYOR ACS MEMC

Abstract. *The article discusses the development and description of control algorithms for a multi-motor electric drive of a main conveyor.*

Keywords: *main conveyor, automatic control system, electric drive, multi-motors.*

МАРКОСОВ Сергей Андреевич

начальник отдела развития ТРИЗ,
ООО «Главстрой-СПб специализированный застройщик», Россия, г. Санкт-Петербург

ЮДИН Руслан Викторович

д.ф.-м.н., руководитель проектов отдела развития ТРИЗ,
ООО «Главстрой-СПб специализированный застройщик»,
Россия, г. Санкт-Петербург

ЗОЛОТАРЕВ Владимир Викторович

директор по развитию производственной системы,
Филиал ООО «Главстрой-СПб специализированный застройщик» в Московской области»,
Россия, г. Москва

**ПРИМЕНЕНИЕ МИКРОКРЕМНЕЗЁМА
В ПРОИЗВОДСТВЕ ЦЕМЕНТНОГО БЕТОНА**

Аннотация. В настоящей работе рассматриваются вопросы использования мелкодисперсных наполнителей, в частности, микрокремнезёма (МК) и способ его активации для модифицирования структуры цементного камня в товарном бетоне. На рынке представлены различные марки микрокремнезёма и известны различные способы его введения в бетонную смесь. Рассмотрен способ физической активации МК и влияние параметров ультразвуковой активации в сочетании с неорганическим стабилизатором на гранулометрический состав его водной суспензии.

Ключевые слова: активированный микрокремнезём (МК), бетонная смесь, прочность при сжатии, ультразвуковая активация, гранулометрический анализ.

Введение

В настоящее время бетон является одним из наиболее массовых конструктивных материалов в строительстве. В то же время производство цемента служит основным источником выбросов углекислого газа в атмосферу при производстве строительных материалов.

Актуальность данной работы связана с возможностью уменьшения содержания, вяжущего в бетонных смесях при сохранении их прочностных характеристик и, как следствие, снижение углеродного следа в производстве цемента.

Одним из эффективных способов повышения прочности цементного камня является модифицирование состава бетонной смеси различными комплексными (органоминеральными) добавками. Важным требованием к состоянию минерального наполнителя стала его дисперсность, нормируемая размером полости между зёрнами цемента, заполненной либо воздухом, либо щелочным раствором.

Исследования влияния добавок кремнезёма на прочностные характеристики бетона явились темой многих научных работ [2-8, 11-15]. Первые упоминания микрокремнезёма в связи с бетоном связаны с именами Шарпа (James W. Sharp, 1944) и Бернхарда (C.J. Bernhard, 1952), и первые практические исследования начались уже в пятидесятые в Норвегии [13]. В России работы проводились Каприеловым С.С., Брыковым А.С., Батраковым В.А., Шейнфельдом А.В., Жигулевым Н.Ф., Закуражновым М.С., [3, 6, 7], широко известны работы Холланда (Terence C. Holland) [14, 15]. Интерес к использованию в бетонных смесях наполнителей высокой дисперсности и пуццоланической активностью объяснялся значительным улучшением прочностных и других технологических характеристик получаемого бетона: сульфатостойкости, снижением водоотделения и водопроницаемости, и др.

Однако высокая дисперсность добавок, обуславливающая их эффективность при затворении цементной пасты, приносит проблемы в

процедуру промышленного использования этих ультрамелких порошков. В частности, сухой микрокремнезём сильно пылит, что значительно затрудняет работу с ним, его водная суспензия разделяется и следует решать проблему её стабилизации, по крайней мере, на несколько недель. В качестве стабилизатора суспензии применяли суперпластификатор С-3 и нитрилотриметиленфосфоновую кислоту [6, 7], соляную кислоту [3], однако исследователи, отмечая работу этих стабилизаторов, делали вывод о быстром снижении их эффективности из-за нейтрализации, обусловленной щелочной реакцией цементного теста.

Также высокая дисперсность провоцирует способность к слипанию, при этом образуются агрегаты и агломераты значительно большего размера, чем исходные частицы. И чем меньше размер частиц, тем более они склонны к слипанию из-за высокой поверхностной энергии и тем сложнее диспергировать агрегаты до исходных размеров частиц [9]. Тем не менее, чтобы обеспечить наибольшую эффективность МК, надо обеспечить минимально возможный размер его частиц.

Прежде считалось, что увеличение интенсивности перемешивания приводит к полному разрушению агрегатов, однако это не так и уплотненный МК, вводимый в бетонные смеси без специальной обработки, используется недостаточно эффективно, поскольку кластеры МК полностью не разрушены. Значительные силы взаимодействия (Ван-дер-Ваальса, электростатические) удерживают частицы вместе и простое перемешивание МК совместно с другими компонентами бетонной смеси, в соответствии с обычной технологией, оказывается недостаточным для того, чтобы исключить агломерацию. Такие агрегаты не разрушаются ни механическим воздействием, ни введением диспергирующих добавок [2].

Известно много различных способов измельчения твёрдых материалов, однако только ультразвук обеспечивает дисперсность менее 1 мкм [9]. Диспергирующее действие ультразвука обеспечивается кавитацией, возникающей в жидкости под воздействием звуковой волны. Она провоцирует возникновение газовых пузырьков, при схлопывании которых возникает ударная волна высокой энергии, которая и дробит твёрдый материал. Нами был использован ультразвуковой диспергатор УЗД1-

1,0/22, производства ООО «Ультразвуковая техника» (СПб), с рабочей частотой $22 \pm 1,65$ кГц и мощностью 1000 ± 10 Вт.

Следовало также решить вопрос стабилизации суспензии МК. Следуя принципу согласования и принимая во внимание щелочную природу цементного теста, выбор был остановлен на тринатрийфосфате $\text{Na}_5\text{P}_3\text{O}_{10}$. Большое время жизни водной суспензии позволит вывести на рынок микрокремнезема еще один продукт, который упростит применение МК на бетонно-месительных установках [1].

Объекты и методы исследования

Для отработки методики использования микрокремнезёма в бетонной смеси были выбраны доступные на рынке отечественные материалы.

В ходе проведения испытаний изготавливалась бетонная смесь согласованного состава, проводилась оценка подвижности, сохранности по ГОСТ 10180-2012. Осуществлялось изготовление контрольных образцов-кубов 10^*10^*10 см для дальнейшей оценки прочности в проектном возрасте: 1, 3, 7 и 28 суток.

В лабораторных испытаниях использовались:

1. Портландцемент ЦЕМ I 42.5 Н производства ОАО «Серебрянский цементный завод».
2. Песок для строительных работ, $M_{кр} = 2,0$ ООО «НерудПром», ГОСТ 8736-14.
3. Щебень гранитный фр. 5-20, «ЛСР» карьер Кузнечное, ГОСТ 8267-93.
4. Добавка ST 4.3.1.
5. Микрокремнезём МК-95, «Каменск-Уральский завод ферросплавов».

Микрокремнезём является побочным продуктом ферросплавного производства и представляет собой очень дисперсный лёгкий порошок с размером частиц порядка 0,1 мкм, что на два порядка меньше среднего размера зерна цемента. Это приводит к тому, что при смешивании бетонной смеси, модифицированной МК, каждая частичка цемента окружена значительным количеством (порядка 2-х миллионов, Холланд [14]) мельчайших частиц SiO_2 . В результате эти частички уплотняют цементный раствор, замещая собой часть щелочного раствора, что приводит к изменению различных характеристик образующегося цементного камня: у бетона растёт прочность и сульфатостойкость, падает водопроницаемость.

Таблица 1

**Спецификация на микрокремнезём конденсированный МК, МКУ 95,
ТУ 1789-016-50721130-2017 Производитель ООО «СУАЛ-Кремний-Урал»**

| Вещество | Нормируемое содержание, % | Фактическое содержание, % |
|--|---|--|
| SiO ₂ | min 94 % | 94,67 |
| Fe ₂ O ₃ | max 1 % | 0,111 |
| Al ₂ O ₃ | max 1 % | 0,170 |
| CaO | max 1 % | 0,507 |
| Na ₂ O and K ₂ O | max 2 % | Na ₂ O 0,82/ K ₂ O 1,077 |
| MgO | max 0,5 % | |
| P ₂ O ₅ | max 0,1 % | |
| SO ₃ | max 0.6 % | |
| C | | 1,25 |
| Cl | | 0,042 |
| SiC | | 1,05 |
| Si | | 0,37 |
| Влага | max 3% | 0,48 |
| Насыпная плотность | 200-300, 300-400, 400-600 kg/m ³ | |
| pH | | 6,9 |
| Потери при прокаливании | max 3 % | 1,06 |
| Удельная поверхность | min 15 м ² /г | 24 м ² /г |
| >45 микрон | max 0.5 % | 0.05 % |

На рынке представлен продукт как низкой плотности (130-430 кг/м³), так и уплотнённый (480-720 кг/м³). В наших исследованиях был использован именно уплотнённый МК.

Методика приготовления суспензии МК включала предварительное смешивание МК с водой до однородности в соотношении 1:1 с использованием лабораторной мешалки, затем обработку ультразвуком в течение 6 или 12

минут в зависимости от массы образца параллельно с активным перемешиванием, после чего отбирался образец на гранулометрические исследования, а оставшаяся суспензия использовалась на приготовление бетонной смеси, из которой заполнялись стандартные кубики (10*10*10 см) для испытания на прочность при сжатии.

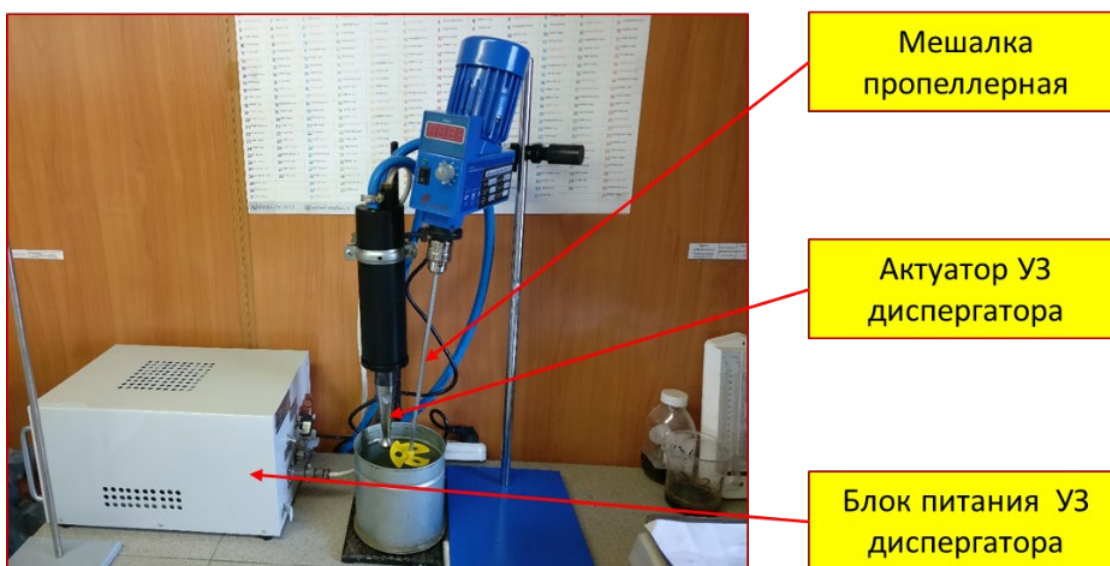


Рис. 1. Лабораторная установка для приготовления суспензии МК

Результаты и их обсуждение

Из всех изученных образцов приведены результаты по трем, наиболее иллюстративным,

отражающим степень и однородность измельчения агрегатов микрокремнезема.

Таблица 2

Режимы активации суспензии МК

| № | Соотношение МК/Вода, % | МК95, г | ПАВ, % | Время обработки, мин | Гранулометрический состав, %/диаметр в нм | | | Скорость мешалки, об/мин |
|-----|------------------------|---------|--------|----------------------|---|-----------|-----------|--------------------------|
| | | | | | ниже 100 | около 200 | выше 5000 | |
| 2А | 50/50 | 500 | 0,025 | 6 | 0,7 /12 | 47,0 /180 | 52,3 /12μ | 520 |
| 2А7 | 50/50 | 2000 | 0,025 | 12 | 4,3 /36,0 | 78,2 /208 | 18,5 /10μ | 1450 |
| 2А8 | 50/50 | 2000 | 0,025 | 12 | 2,5 /26,0 | 83,2 /200 | 15,2 /12μ | 1450 |

Гранулометрические измерения проводились в лаборатории ИТМО (СПб) на анализаторе размера частиц и дзета-потенциала

Photocor Compact-Z. В каждой серии испытывалось по три образца.

Таблица 3

Гранулометрический состав образцов 2А

| Номер пика | Процентное содержание | Средний гидродинамический радиус частиц, нм |
|------------|-----------------------|---|
| 1 | 0,7 | 12,1 ± 8,8 |
| 2 | 47,0 | 180,0 ± 4,1 |
| 3 | 52,3 | 12000 ± 2156 |

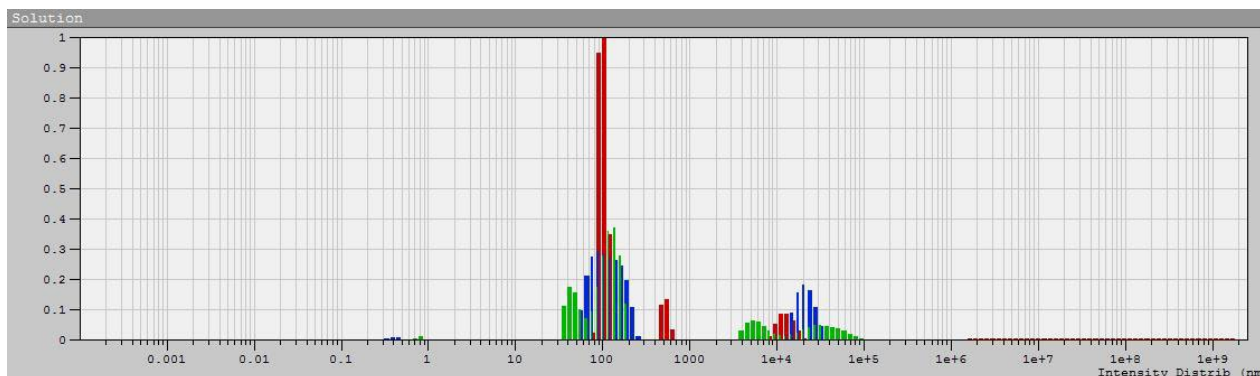


Рис. 2. Гранулометрический анализ образцов 2А

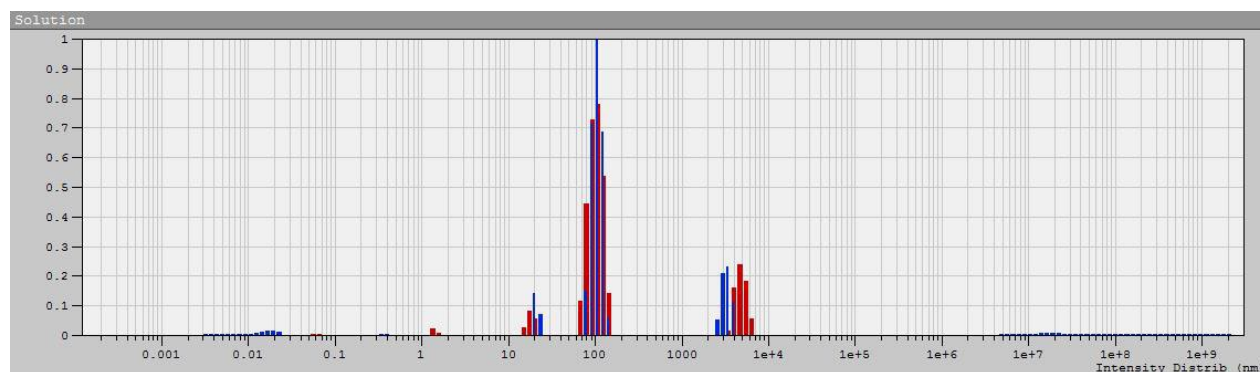


Рис. 3. Гранулометрический анализ образцов 2А7

Анализ эффективности диспергирования образцов ожидаемо показал, что акустическое воздействие на агрегаты МК наиболее результативно на малых расстояниях от акутатора УЗ-

генератора, то есть наиболее эффективным будут проточные схемы активирования первичной суспензии, когда каждый обрабатываемый объём находится на минимальном расстоянии

от актуатора. В результате образцы суспензии массой 2 кг (2А7, 2А8) после обработки в

течение 12 минут показали содержание около 80% частиц диаметром порядка 200 нм (табл. 3,4).

Таблица 4

Гранулометрический состав образцов 2А7

| Номер пика | Процентное содержание | Средний гидродинамический радиус частиц, нм |
|------------|-----------------------|---|
| 1 | 4,3 | 18,1 ± 8,8 |
| 2 | 78,2 | 104,4 ± 2,1 |
| 3 | 18,5 | 5333 ± 956 |

Таблица 5

Гранулометрический состав образцов 2А8

| Номер пика | Процентное содержание | Средний гидродинамический радиус частиц, нм |
|------------|-----------------------|---|
| 1 | 2,5 | 13,4 ± 9,3* |
| 2 | 83,2 | 100,2 ± 7,6 |
| 3 | 15,2 | 6269 ± 1051 |

* По результатам двух измерений

В дальнейших экспериментах изучалось влияние введение микрокремнезёма в виде активированной суспензии на прочностные свойства бетона, полученного на 9-литровом

лабораторном миксере. В исследуемых составах 10% цемента замещалось на активированную водную суспензию МК-95.

Таблица 6

Составы бетонных смесей для исследования

| Наименование бетонной смеси, материалов/ Расход | Цемент, кг | Песок, кг | Щебень, кг | Добавка, СТ 4.3.1, кг | Вода, л | Суспензия МК95, кг |
|---|------------|-----------|------------|-----------------------|---------|--------------------|
| B25 | 320 | 840 | 1010 | 2,56 (0,8%) | 195 | - |
| B25 | 288 | 840 | 1010 | 6,4 | 148 | 64 |

Цель испытаний: Определение прочности бетона на сжатие на соответствие ГОСТ 26633-12.

Результаты испытаний обработаны согласно ГОСТ 10180-2012, ГОСТ 18105-2010 и приведены в таблице и на рисунке (табл. 7 и рис. 4.).

Таблица 7

Результаты испытаний бетонных смесей с использованием суспензии МК-95

| ЦЕМЕНТ: | | ООО «Серебрянский цементный завод» СЕМ I 42.5 Н | | | | | | | | | | | |
|-----------|-----------------------------------|---|------|------|------|--|------|------|------|--|------|------|------|
| № состава | | №1 (контрольный) | | | | №2 (сухой МК-95) | | | | №3 (суспензия МК-95) | | | |
| № | Наименование | СТ 4.3.1/1 | | | | СТ 4.3.1/1 МК-95: 10% от массы цемента | | | | СТ 4.3.1/1 МК-95: 10% от массы цемента | | | |
| 1 | Расход добавки, % | 0,8 | | | | 2,0 | | | | 2,0 | | | |
| 2 | Расход цемента, кг | 320 | | | | 288 | | | | 288 | | | |
| 3 | Расход песка, кг | 840 | | | | 840 | | | | 840 | | | |
| 4 | Расход щебня фр. 5-20, кг | 1010 | | | | 1010 | | | | 1010 | | | |
| 5 | Расход воды, кг | 195 | | | | 169 | | | | 148 | | | |
| 6 | Расход МК-95 (микрокремнезём), кг | - | | | | 32 | | | | 32 | | | |
| 7 | ОК 15 минут, см | | | | | 20 | | | | 21 | | | |
| 8 | ОК 1,5 часа, см | | | | | 19 | | | | 19 | | | |
| 9 | Р, кг/м ³ | | | | | 2381 | | | | | | | |
| 10 | Возраст в сутках | 1 | 3 | 7 | 28 | 1 | 3 | 7 | 28 | 1 | 3 | 7 | 28 |
| 11 | R _{тр} =32 МПа | 6,9 | 25,9 | 33,7 | 40,5 | 18,0 | 32,8 | 44,1 | 63,0 | 16,7 | 33,5 | 48,3 | 66,9 |
| 12 | Прочность от требуемой, % | 22 | 81 | 105 | 127 | 56 | 103 | 138 | 197 | 52 | 105 | 151 | 209 |
| 13 | Соответствие классу бетона | | | | | В30 | | | | В45 | | | |

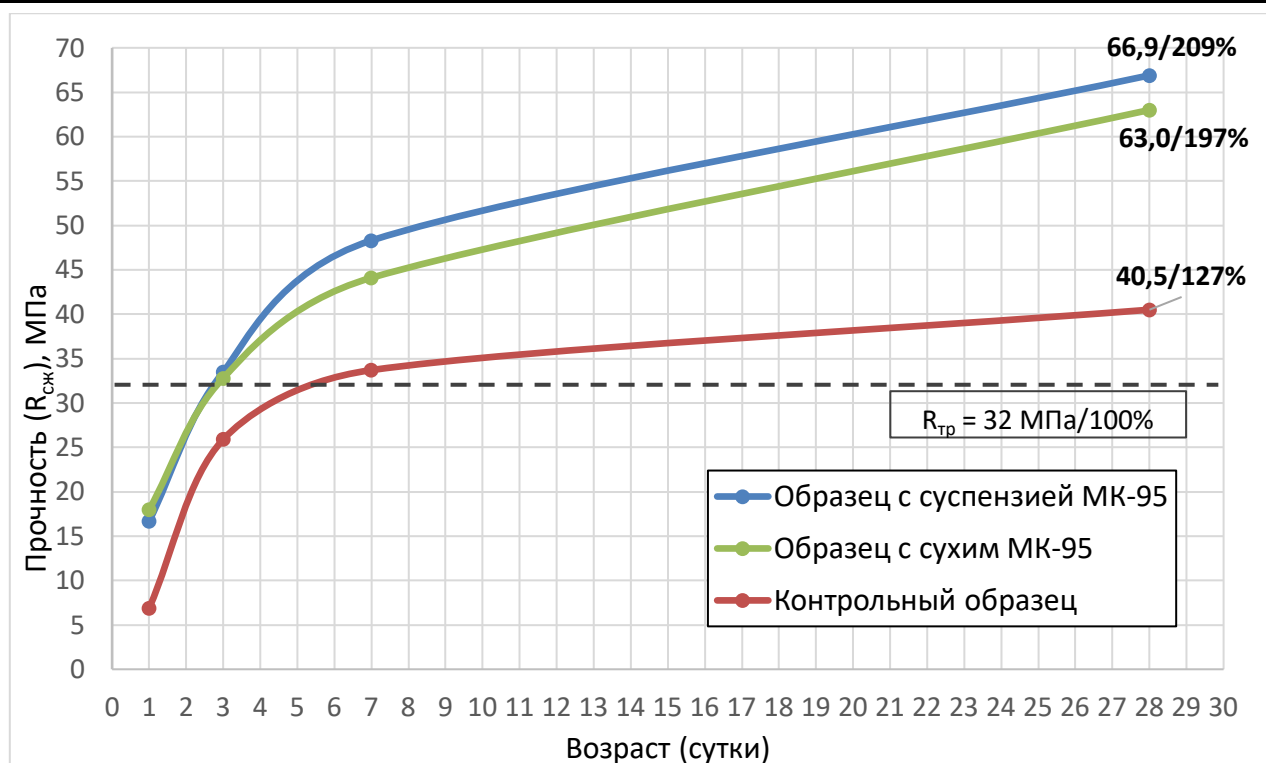


Рис. 4. Динамика набора прочности бетонных смесей в зависимости от агрегатного состояния добавки микрокремнезёма

Заключение

Проведённые исследования показали значимую зависимость разрушения агрегатов МК в водной фазе от времени ультразвуковой обработки в сочетании с активным перемешиванием. Присутствие стабилизатора суспензии в виде тринатрийфосфата обеспечило жизнеспособность составов не менее 6-и месяцев. По результатам испытаний контрольный образец имеет предел прочности при сжатии в проектном возрасте 37,0 МПа, наилучший результат с применением суспензии МК-95 показал состав №2А (с заменой 10% цемента суспензией МК) – 66,9 МПа в лабораторных условиях. При использовании сухого порошка МК незначительное снижение прочности на сжатие по сравнению с активированной суспензией не компенсирует существенных сложностей работы с мелкодисперсным порошком, склонным к налипанию на оборудование при производстве товарного бетона.

Авторы выражают благодарность Денису Колчанову (ИТМО, СПб) за проведение гранулометрических исследований.

Литература

1. Батяновский Э.И., Гуриненко Н.С. Бетон с полифункциональной кремнеземсодержащей добавкой. – Минск: БНТУ, 2021. – 195 с.

2. Брыков А.С. Ультрадисперсные кремнеземы в технологии бетонов: учебное пособие / А.С.Брыков. – СПб.: СПбГТИ(ТУ), 2009. – 27 с.

3. Закуражнов М.С., Артамонова О.В., Шмитько Е.И. Эффективное модифицирование систем твердения цементного камня с использованием активированного микрокремнезёма // Известия ТулГУ. Технические науки, 2015, Вып. 12. Ч. 1, С. 43-52.

4. Nikolay Zaichenko, Al-Shamsi K. Ali Said, Elena Sakhoshko. Silica Fume-based Admixture in the Form of Aqueous Slurry for Self-compacting Concrete // MOTROL. 2011, 13, С. 5-10.

5. Каприелов С.С., Шейнфельд А.В., Батраков В.Г. Комплексный модификатор марки МБ-01 // Бетон и железобетон 1997. – №5. – С. 38-41.

6. Каприелов С.С., Шейнфельд А.В., Жигулев Н.Ф. Способ приготовления бетонной смеси // Патент РФ №2095327. 1997.

7. Каприелов С.С., Батраков В.Г., Шейнфельд А.В. Способ приготовления водной суспензии микрокремнезёма // Патент РФ №2085542. 1997.

8. Кононова О.В., Смирнов А.О. Исследование особенностей формирования прочности квазисамоуплотняющегося бетона с микрокремнеземом // Фундаментальные исследования. 2017, № 9, С. 327-331.

9. Косенок Я.А., Гайшун В.Е., Тюленкова О.И., Савицкая Т.А., Кимленко И.М., Шахно Е.А. Влияние ультразвуковой обработки на размер частиц в суспензиях на основе наноразмерного диоксида кремния // ПФМТ, 2015, выпуск 4(25), С. 16-19.

10. Лейман Д.В. Термодинамика стабилизации водных суспензий оксида алюминия, полученного методом высокоэнергетического физического диспергирования. 2013. Отчёт о научно-исследовательской работе, ФГАОУ ВПО «Уральский федеральный университет имени первого Президента России Б.Н. Ельцина».

11. Носырев Д.Я., Краснов В.А., Кабанов П.А. Способ приготовления бетонной смеси // Патент РФ №2530967. 2014.

12. Пустовгар А.П. Эффективность добавок микрокремнезема при модификации бетона // Стройпрофиль. 2005, 8-05. URL: <http://stroyprofil.com/archive/1980>

13. Per Fidjestøl and Magne Dåstøl. The history of silica fume in concrete from novelty to key ingredient in high performance concrete // Proceedings of the Congresso Brasileiro do Concreto. 2008. URL: www.ibracon.org.br/eventos/50cbc/plenarias/PER_FIDJESTOL.pdf

14. Terence C. Holland. Silica Fume User's Manual. Technical Report, 2005. Silica Fume Association. URL: www.silicafume.org

15. Terence C. Holland (Chairman). Guide for the Use of Silica Fume in Concrete, Reported by ACI (American Concrete Institute) Committee 234, 2000.

MARKOSOV Sergey Andreevich

Head of the TRIZ, Development Department of Glavstroy-SPb Specialized Developer LLC,
Russia, Saint Petersburg,

YUDIN Ruslan Viktorovich

PhD, Project Manager of the TRIZ,
Development Department of Glavstroy-SPb Specialized Developer LLC,
Russia, Saint Petersburg,

ZOLOTAREV Vladimir Viktorovich

Director of the Production System,
Branch of Glavstroy-SPb specialized developer LLC in the Moscow region",
Russia, Saint Petersburg,

THE USE OF MICROSILICA IN THE CEMENT CONCRETE PRODUCTION

Abstract. *This paper dedicated to the use of fine fillers, in particular, microsilica (MS) and the method of its activation for modifying the structure of cement stone in commercial concrete. There are various brands of microsilica on the market and various methods of its introduction into the concrete mixture are known. The method of physical activation of the MS and the effect of ultrasonic activation parameters in combination with an inorganic stabilizer on the granulometric composition of its aqueous suspension are considered.*

Keywords: *activated microsilica (MS), concrete mix, compressive strength, ultrasonic activation, granulometric analysis.*



DOI 10.51635/27131513_2023_21_1_38

РЫСИН Андрей Владимирович

радиоинженер, АНО «НТИЦ «ТЕХКОМ», Россия, г. Москва

БОЙКАЧЕВ Владислав Наумович

кандидат технических наук, директор, АНО «НТИЦ «ТЕХКОМ», Россия, г. Москва

НАЯНОВ Алексей Михайлович

начальник сектора, АНО «НТИЦ «ТЕХКОМ», Россия, г. Москва

ОСТРОВСКИЙ Яков Борисовичкандидат технических наук,
начальник отдела, АНО «НТИЦ «ТЕХКОМ», Россия, г. Москва

ОБОСНОВАНИЕ И СРАВНЕНИЕ ФУНКЦИОНАЛЬНЫХ СХЕМ РАДИОУПРАВЛЕНИЯ ДЛЯ БЕСПИЛОТНЫХ ЛЕТАТЕЛЬНЫХ АППАРАТОВ (БПЛА) В ШИРОКОМ ДИАПАЗОНЕ ЧАСТОТ НА ОСНОВЕ ОПТИМИЗИРОВАННЫХ РАДИОТЕХНИЧЕСКИХ ПАРАМЕТРОВ

Аннотация. На современном этапе развития систем радиоуправления и связи остро стоит вопрос об оптимизации радиоэлектронных устройств в микромодульном исполнении с целью снижения экономических затрат за счёт унификации и многофункционального использования. При этом есть необходимость в оптимизации работы под конкретные специфические задачи с учётом защиты от радиопомех. В данной статье на основе анализа характеристик известных радиосистем предлагаются функциональные схемы, обеспечивающие микромодульное радиоэлектронное устройство радиоуправления БПЛА с оптимизацией радиотехнических параметров в широком диапазоне частот. Такие функциональные схемы в сочетании с выполнением задач беспилотных летательных аппаратов могут иметь многофункциональное использование в связи, навигации и при дистанционном зондировании Земли.

Ключевые слова: радиоуправление БПЛА, теорема Котельникова, ошибки, виды модуляций радиосигнала, скорость передачи информации, сдвиг по частоте Доплера.

Современные беспилотные летательные аппараты (БПЛА) имеют многофункциональное назначение. Они могут выполнять мирные задачи доставки грузов, контроль окружающей среды, например, с целью оценки урожаев и предупреждения возгораний леса, оценки толщины льда в качестве радиовысотометров в северных широтах, для обеспечения Интернет и связи между удалёнными друг от друга пунктами, для определения местоположения объектов. В военных целях, они могут использоваться с целью уничтожения объектов противника, радиотехнической разведки, постановки помех, передачи изображения с поля боя и для управления подразделениями, дистанционного зондирования Земли в различных

диапазонах частот с целью определения замаскированных целей, точной корректировки огня и т.д. Особенно надо отметить, что частотный радиодиапазон БПЛА может лежать от сотен МГц до десятков ГГц, что фактически сводит к нулю возможности противодействия средствами радиоэлектронной борьбы (РЭБ), так как радиотехническая разведка (РТР) просто не успевает зафиксировать наличие сигнала при перестройке таких параметров как частота, фаза с прерывистостью передаваемого сигнала. Низкая высота полёта и малые размеры также обеспечивают прорыв противовоздушной обороны (ПВО) противника, особенно если используется массовый запуск БПЛА с системой их взаимодействия, работающих в разных

диапазонах частот. То есть, против системы ПВО используется система прорыва с управлением взаимодействия, когда БПЛА имеют определённые функции по разведке, подавлению и уничтожению с возможностью их смены. Так как место и маршруты прорыва известны, то концентрация усилий позволяет прорвать любую оборону с помощью соответствующего количества БПЛА. Отметим, что узкоспециализированные БПЛА дают большие экономические расходы, хотя и позволяют лучше решать частные задачи. Соответственно в этом случае стоит вопрос о применении технологии двойного назначения с целью удешевления блоков и узлов для БПЛА при их массовом производстве, унификации, при правильном выборе радиочастотного диапазона, где бы могли выполняться как мирные, так и военные задачи. Соответственно это возможно за счёт оптимизации функциональных схем радио модулей. Понятно, что существует минимальный набор функций, как в мирных, так и в военных целях для выработки требований к блоку и узлам БПЛА. Соответственно имеем основные требования:

- 1) обеспечение радиуправления БПЛА;
- 2) передача необходимых данных;
- 3) определение высоты полёта БПЛА;
- 4) обеспечение связи и Интернет;
- 5) определение местоположения БПЛА;
- 6) быстрое вхождение в режим связи и радиуправления;
- 7) высокая помехозащищённость;
- 8) наведение по источнику излучения;
- 9) возможность выполнения радиоэлементов в микроминиатюрном виде одной микросхемы с целью сокращения размеров и веса;
- 10) унификация отдельных узлов для многофункционального использования.

В [1] мы, на основе анализа вариантов блоков радиуправления БПЛА с учётом приёма и передачи, определили функциональную схему наипростейшего начального микро модуля. Здесь на рисунке 1, мы приводим более подробную функциональную схему с учётом законченного узла радиуправления и возможностью использования дуплексного режима связи.

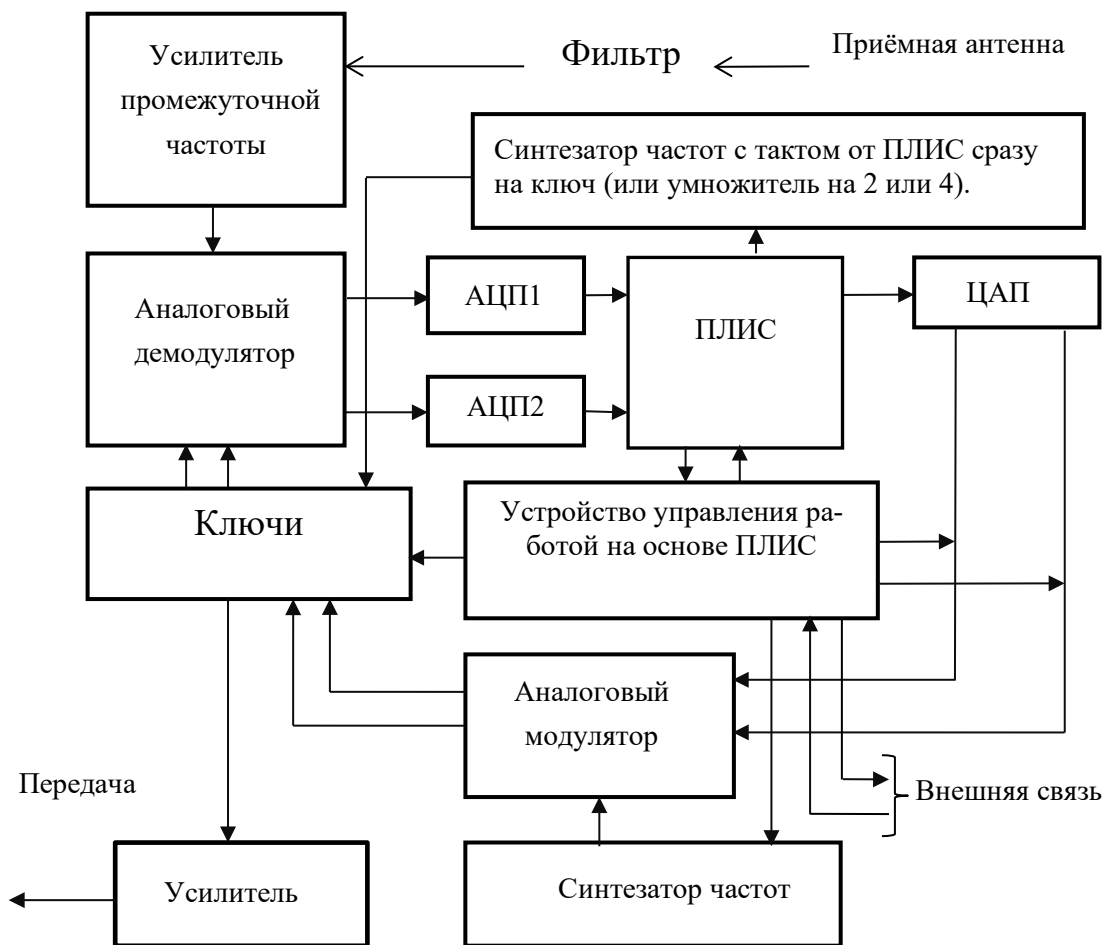



Рис. 1. Функциональное исполнение микро модуля 1 для реализации способа быстрой цифровой фазовой автоподстройки частоты для оптимальной когерентной обработки радиосигналов

В указанную конфигурацию микро модуля 1 не входит блок приёма-передающей антенны, в котором могут использоваться как маломощные усилители (МШУ), так и соответствующие фильтры на приём и передачу, с ключами и фазовращателями, так как тип антенны и частота будет зависеть от выполняемых задач и поэтому должны иметь самостоятельное исполнение. На рисунке 1 не показаны сигналы тактовой частоты дискретизации на аналого-цифровые преобразователи (АЦП), так как через ключевую схему возможен вариант формирования от программируемой логической интегральной схемы (ПЛИС) и от синтезаторов частот, которые показаны отдельно. Использование синтезатора частоты на основе ПЛИС и «вшитой» в него программы связано с возможностью использования дуплексного режима (одновременный приём и передача) и именно поэтому желательно иметь отдельную антенну с набором фильтров на приём и передачу. Сужение изначальной полосы входных фильтров антенны позволяет исключить влияние импульсной помехи перегружающей входной тракт. Выбор указанной функциональной схемы был проведён с учётом оптимизации параметров радиосигнала по способам модуляции с получением наилучшей помехозащищённости и чувствительности. Реализуемость в широком диапазоне частот определяется наличием радиоэлектронных компонентов, которые на данном этапе далеки от совершенства с точки зрения оптимизации. Поэтому на начальном этапе в предлагаемом варианте функциональной схемы используется ПЛИС A3PE3000L (Reprogrammable Flash Technology 130-nm, максимальная частота внутри ПЛИС

350 МГц), АЦП состоят из микросхемы ad9254 с тактовой частотой до 150 МГц при разрядности в 14 бит, ЦАП возможен на микросхеме ad9763 с передачей до 125 Мбит/сек с разрядностью 10 бит и потреблением 380 мВт при 5 В (возможно первоначальное использование ЦАП на микросхеме ad9761 с передачей до 40 Мбит/сек, разрядностью 10 бит и потреблением 200 мВт при 5 В). Аналоговый балансный модулятор, например, ad8345 имеет полосу модуляции в 80 МГц на первом входе и с переносом частоты в область от 140 МГц до 1 ГГц. На второй вход аналогового балансного модулятора поступает сигнал от синтезатора частоты adf4360-7 с частотой от 175 МГц до 900 МГц. Сигнал с аналогового модулятора поступает на первый вход аналогового балансного демодулятора (ad8348 с рабочими частотами от 50 МГц до 1 ГГц и полосой пропускания 60 МГц), на второй вход которого поступает сигнал от пользователя через усилитель промежуточной частоты (УПЧ), и тем самым цепь обратной связи ФАПЧ замыкается. Здесь приём сигнала для радиуправления может лежать вплоть до 1 ГГц, например, для приёма сигналов в полосе приёма системы связи «Гонец» может использоваться в качестве усилителя промежуточной частоты (УПЧ) микросхема AD8309 от 5 до 500 МГц с коэффициентом усиления в 100 дБ (возможно применение AD8313 от 0,1-2,7 ГГц) с коэффициентом усиления 70 дБ). В этом случае показанный микро модуль по рисунку 1 в [1] уже имеет диапазон частот от 175 МГц до 1 ГГц для обеспечения связи, а значит и радиуправления, то есть соответствует диапазону частот системы связи Гонец в соответствии с таблицей 1.

Таблица 1

Параметры спутниковой системы связи «Гонец»

| Параметры системы | | Значения | | |
|--|--|---------------|--|--|
|  <p>ОТРАСЛИ</p> <ul style="list-style-type: none"> Космическая Транспортная Специальная техника Нефтегазовая Удаленным регионам Рыболовственный флот Экологический мониторинг | Диапазон рабочих частот: | | От внутреннего источника 12 В | |
| | на передачу, МГц | 313 - 315 | Потребляемая пиковая мощность не более, ВА | 30 |
| | на прием, МГц | 387 - 390 | Рабочий диапазон температур, °С | от - 40 до + 55 (при относ. влаж. 93%) |
| | Скорость приема информации: | | Габаритные размеры, мм | |
| | в канале «Космос» - «Земля», кбит/с | 9,6; 19,2 | Длина | 430 |
| | в канале «Земля» - «Космос», кбит/с | 2,4; 4,8; 9,6 | Ширина | 330 |
| | Выходная мощность передатчика, Вт | | Высота | 140 |
| | до 10±2 | | | |

Соответственно в силу того, что несущая частота в системе связи «Гонец» изменяется от 300 МГц до 400 МГц, а сброс сигнала перед обработкой в АЦП может осуществляться в полосу от 0 до 20 МГц, то более предпочтителен вариант, когда синтезатор частоты имеет отдельное исполнение, что позволяет через внешнее управление менять диапазон используемых частот. Так как параметры передачи информации в системе связи Гонец совпадают с минимальными параметрами для радиуправления БПЛА, то отсюда предлагаемый микромодуль по рисунку 1 может иметь уже в данном исполнении многофункциональное применение и даже заменять терминал системы связи Гонец. Понятно, что внешнее управление должно обеспечивать по разным программам тот или иной многофункциональный режим, что означает, что желательно внешнее управление

также выполнять в виде процессора в ПЛИС. Круг задач, которые должен выполнять процессор внешнего управления обычно имеет стандартный набор, поэтому желательно использовать уже готовый вариант, используемый на БПЛА с добавлением функций. Как мы отметили выше, микромодуль 1 уже обеспечивает приём и передачу сигналов в области работы системы связи Гонец в 300-400 МГц. Одновременно он может использоваться и для связи в системе GSM с частотами 800 МГц, 850 МГц, 900 МГц. Понятно, что диапазон использования такого микромодуля ограничен частотой в 1 ГГц, но это не значит, что в результате оптимизации радиоэлектронных компонентов его нельзя расширить. В комплексе абонентский терминал, предназначенный для системы связи «Гонец», обеспечивает также приём сигналов GPS (ГЛОНАСС) по таблице 2.

Таблица 2

Параметры терминала для системы Гонец

| Навигационные системы | | Параметры памяти | | Внешний интерфейс | |
|---|--------------|-------------------------------|-----|-------------------|---|
| Навигационные системы | ГЛОНАСС, GPS | flash память, Мбайт | 512 | Источники питания | 1 |
| Точность определения местоположения не более, м | 15 | microSD карта не менее, Гбайт | 4 | | |

| Наименование изделия | Кол |
|---|-----|
| Блок приема/передачи (с ГЛОНАСС/ GPS) диапазона Д2 БПП-2Н | 1 |
| Антенно-фидерное устройство диапазона Д2 МСПА-Д2-1 | 1 |
| Алюминиевый кейс | 1 |
| Антенна ГЛОНАСС/GPS (1574~1610 MHz) | 1 |
| Антенна GSM (ESC-GSM-05 SMA-M) | 1 |

А это означает, что в этом варианте мы должны использовать подключение микромодуля по рисунку 1 к дополнительному устройству переноса частот в диапазон 1574-1610 МГц, тем более, что в этом диапазоне частот используются сигналы для приёма информации через спутниковую систему Iridium [2]. Отметим, что сотовая связь GSM имеет также частоты 1,8 ГГц, 1,9 ГГц и 2,1 ГГц, а это означает,

что если использовать микромодуль 1 как законченное мобильное устройство широкого потребления, то надо предусмотреть и преобразование этих частот GPS (ГЛОНАСС) и GSM в область ниже 1 ГГц. Такой экспериментальный образец с наличием платы преобразования частоты был получен в АНО «НТИЦ «ТЕХКОМ» (рисунок 2).

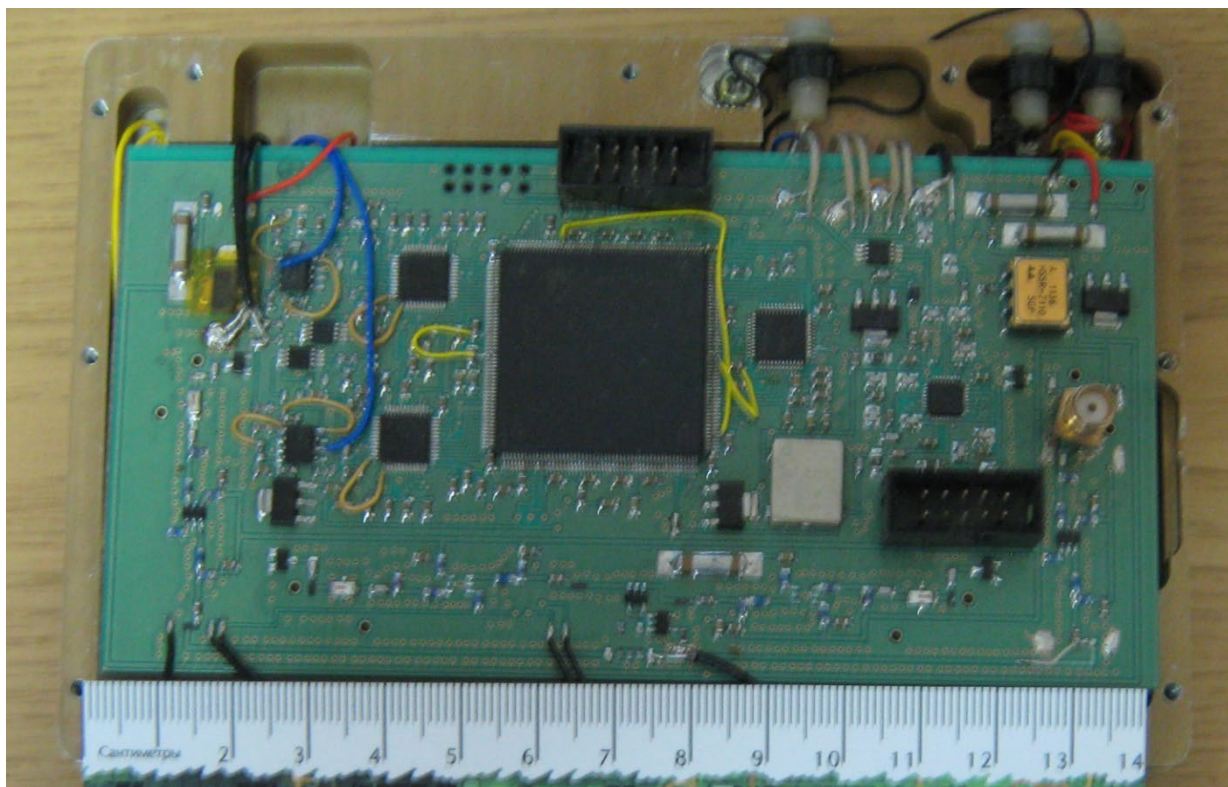


Рис. 2. Первый образец мобильного устройства

Иными словами микромодуль 1 как устройство блока радиуправления БПЛА с дополнением платы преобразования частоты может замещать как мобильные устройства систем Iridium, Гонец, сотовые устройства GSM, так и терминалы GPS (ГЛОНАСС), а также может служить устройством радиуправления и передачи изображения от дешёвых квадрокоптеров (сейчас используется 2,4 ГГц без перестройки по частоте). То есть, современные квадрокоптеры не имеют помехозащищённости в отличие от варианта радиомодуля предлагаемого по рисунку 2. Кроме того, в случае предлагаемого радиомодуля можно использовать связь между абонентами, снабжёнными мобильными устройствами разных типов через БПЛА. Другой вариант использования мобильного устройства по рисунку 2 на БПЛА может быть связан с уничтожением объектов осуществляющих связь через системы Iridium и Globalstar через наведение по сигналу передачи и поэтому в этом случае желательно использовать АФАР состоящую как минимум из четырёх элементов (патч) по приёму сигнала для углового сканирования (возможно также механическое сканирование с меньшим количеством патч). Так как БПЛА должны использовать сигналы GPS (ГЛОНАСС) для определения своего местоположения, то отсюда следует, что желательно иметь общий оптимизированный радиомодуль, с соответствующими выводами для приёма и передачи сигналов. Однако мы можем

расширить требования к модулю переноса частот с тем, чтобы он принимал и передавал сигналы до 2,7 ГГц (с целью защиты от помех желательно иметь ещё более широкий диапазон частот), так как мобильное устройство для приёма сигналов от Globalstar [3] имеет диапазон от 2,4835 ГГц до 2,5 ГГц. В этом случае барражирующий БПЛА может сам формировать помехи устройствам приёма абонентов на этих частотах. То есть, радиомодуль с микромодулем 1 по рисунку 1 и с переносом частот, позволяет использовать такое общее устройство и в качестве создания радиопомех для систем GPS, Iridium и Globalstar. При этом, даже при использовании малоразмерных АФАР данного диапазона состоящих всего из 4-х элементов патч (пример такой антенны будет рассмотрен несколько ниже) возможно, на основе углового сканирования, наведение на источник мобильной связи. Эффективность этого метода показали события при выполнении специальной военной операции. Надо отметить, что модуль переноса частот в X – диапазон позволит формировать радиопомехи и для системы связи Starlink [4], а также Oneweb [5], или принимать такие сигналы, но при этом требуются АФАР с достаточно высоким коэффициентом направленного действия и с большим количеством элементов приёма. Поэтому, более простым вариантом будет использование БПЛА в качестве средств уничтожения пунктов передачи сигналов от терминалов Starlink и Oneweb с

применением малоразмерных АФАР с малым количеством элементов (порядка 4-х патч) приёмной щелевой антенны. Барражирующие БПЛА, с микромодулем 1 и применением модуля переноса частот, можно использовать в качестве средства постановки помех и для систем дистанционного зондирования Земли типа TerraSAR-X. С этой целью дополнительно можно предусмотреть считывание выборок сигнала ЛЧМ из оперативной памяти DDR1 или DDR2 со скоростью 125 МГц на ЦАП (ad9760). В этом случае формируется ЛЧМ сигнал с изменением частоты до 125 МГц. Выборки ЛЧМ в оперативную память могут перед началом работы заноситься от программы «вшитой» в ПЛИС АЗРЕ3000L. Этот канал формирования ЛЧМ может быть предусмотрен во внешнем устройстве с наличием оперативной памяти, сигналы с которого поступают на ЦАП и будут передаваться на аналоговый модулятор. Необходимо отметить, что ЛЧМ сигналы с разной модуляцией после привязки по времени приёма, от верхней частоты до нижней частоты (как бит «1») и от нижней частоты до верхней частоты или само отсутствие сигнала (как бит «0»), могут также использоваться для передачи информации. Понятно, что, расширение диапазона принимаемых частот с помощью модулей переноса частот также положительно сказывается на помехозащищённости канала радиуправления БПЛА, так как приводит к размазыванию помехового сигнала РЭБ по всему предполагаемому диапазону и поиску его средствами радиотехнической разведки (РТР). Однако на современном этапе стоит вопрос обеспечить выполнение многофункциональности и помехозащищённости с использованием доступной по технологии радиоэлектронной компонентной базы, которая в короткие сроки может быть освоена нашей промышленностью с целью импорт замещения в условиях специальной военной операции. Соответственно, что в этом случае, для выполнения боевых задач БПЛА, одновременно с методами обеспечения помехозащищённости канала радиуправления, что нами было показано в [1], при многофункциональном использовании и унификации блоков, стоит вопрос прорыва обороны противовоздушной обороны (ПВО) на предельно малых высотах по рельефу местности. А это невозможно без определения высоты полёта и координат по местоположению с учётом помехозащищённости этих каналов информации. Таким образом, стоит задача возможности унификации блока радиуправления по выполнению функций радиовысотомера и определения местоположения БПЛА в условиях

радиопомех, а это связано с предъявлением соответствующих требований к функциональным схемам для приёма таких сигналов радиовысотомера и навигации, и к программе обработки этих сигналов в ПЛИС. Высота полёта БПЛА порядка 50 метров над поверхностью Земли определяет величину зондирующего импульса радиовысотомера, и при скважности импульсов $Q=2$ не должна превосходить величину порядка $50 \text{ м} / (3 \times 10^8 \text{ м/с}) = 0,166 \text{ мксек}$, что соответствует полосе частот в 6,02 МГц. Но если предположить возможность сближения с Землёй перед посадкой до 6 или 8 метров, то тогда величина зондирующего импульса должна быть ещё меньше и равняться 0,02 мксек (или 0,0266 мксек) с полосой частот импульса в 50 МГц (38 МГц). Собственно малая высота полёта может пригодиться и для выполнения народнохозяйственных задач, например, опыления растений. При этом желательная точность определения высоты полёта должна составлять около 1 метра, что определяет частоту дискретизации в АЦП порядка 150 МГц. Собственно результаты математического моделирования на ПЛИС АЗРЕ3000L показывают, что можно добиться такой обработки сигнала в ПЛИС с полосой частот импульса при трёх потоках информации с дискретизацией в 50 МГц с задержкой этих потоков на такт в 150 МГц относительно друг друга. Однако, это требует более тщательного выбора задержек между логическими элементами при размещении на ПЛИС непосредственно с вмешательством разработчика программы, и есть рост энергетических потерь в ПЛИС. Поэтому на данном этапе в АНО «НТИЦ «ТЕХКОМ» была апробирована математическая модель с учётом задержек на ПЛИС АЗРЕ3000L при подаче тактовой частоты в 152 МГц от ПЛИС на АЦП при использовании разделения сигналов на 4 потока с дискретизацией по 38 МГц со смещением на такт в 152 МГц между потоками. Это снижает как требования по задержкам между логическими элементами ПЛИС, так и потери при обработке в ПЛИС.

Понятно, что использование режима накопления импульсов при определении высоты при использовании многоуровневого АЦП позволяет улучшить точность определения высоты за счёт учёта разницы уровней сигналов в 4 потоках с дискретизацией в 38 МГц, и тогда точность определения высоты перед посадкой может достигать до 0,1 метра с учётом сплайнов. На рисунках 3-6 показаны результаты математического моделирования с тактом дискретизации в АЦП порядка 152 МГц при 4 потоках с дискретизацией каждого потока в 38 МГц и сдвигом на такт в 152 МГц между потоками

относительно друг друга. При этом был взят более сложный случай для многофункционального использования в режиме навигации и накопления сигнала по принципу выделения

сигнала в GPS. То есть режим радиовысотомера на малых высотах – это упрощённый вариант накопления сигнала, как с кодированием, так и без.

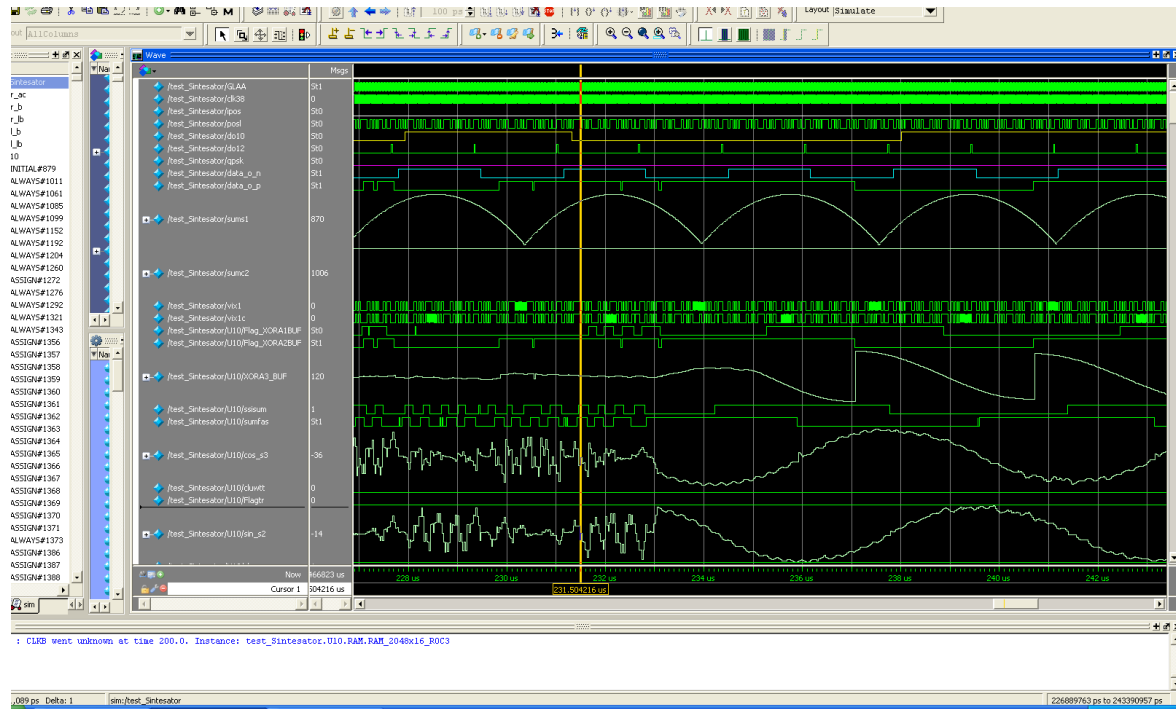


Рис. 3. Отображение режим накопления по 64 импульсам в режиме GPS до момента вхождения в символьную синхронизацию (до 233 мксек) с переходом в режим определения частоты Доплера при такте в АЦП в 152 МГц до замыкания фазовой автоподстройки частоты (ФАПЧ)

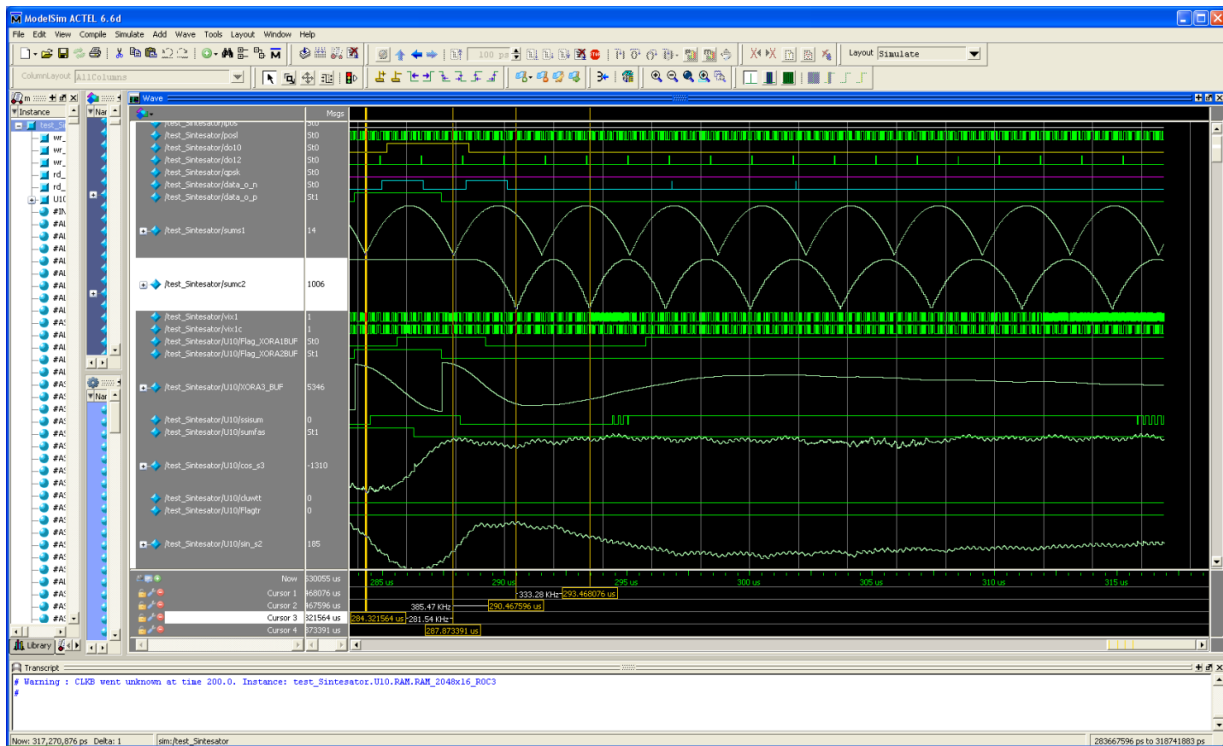


Рис. 4. Результаты математического моделирования при тактовой частоте дискретизации в АЦП в 152 МГц в режиме накопления 64 импульсов по методу GPS в момент замыкания ФАПЧ (267 мксек)

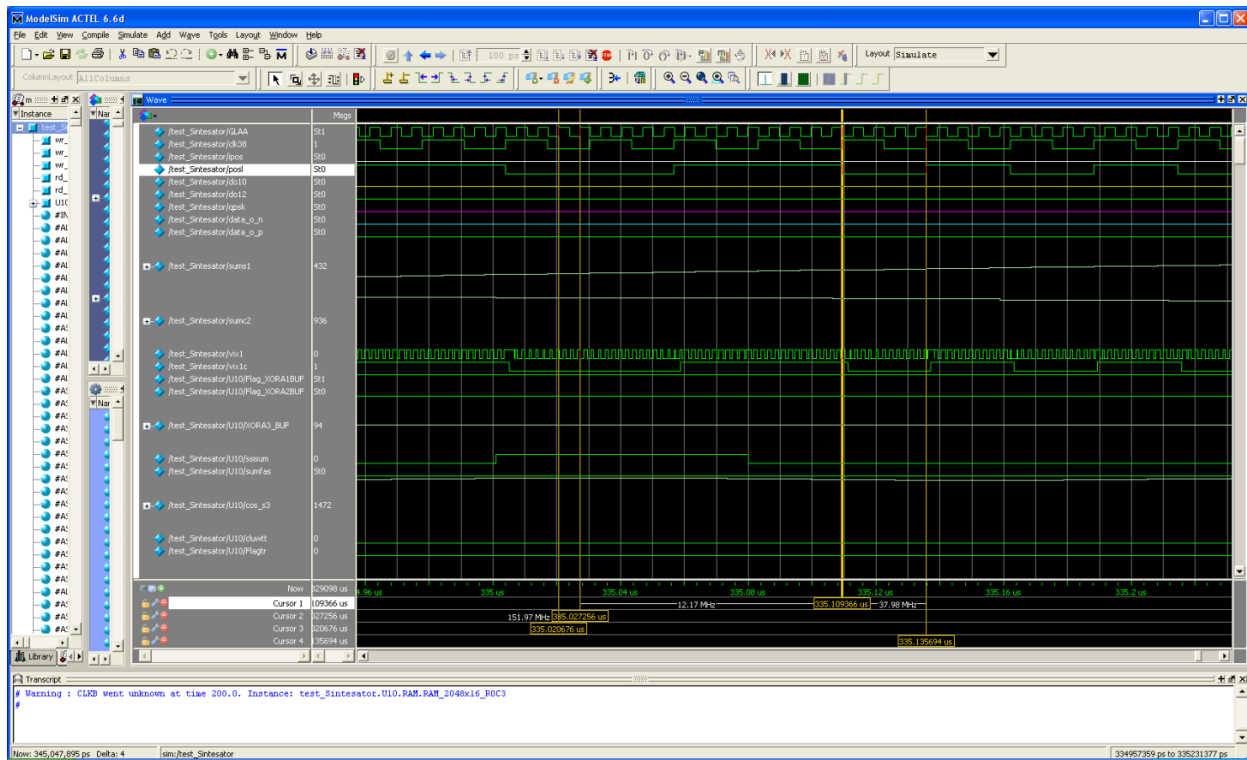


Рис. 5. Отражение математического моделирования для формирования потока 38 МГц (clk38) при дискретизации в АЦП в 152 МГц (GLAA)

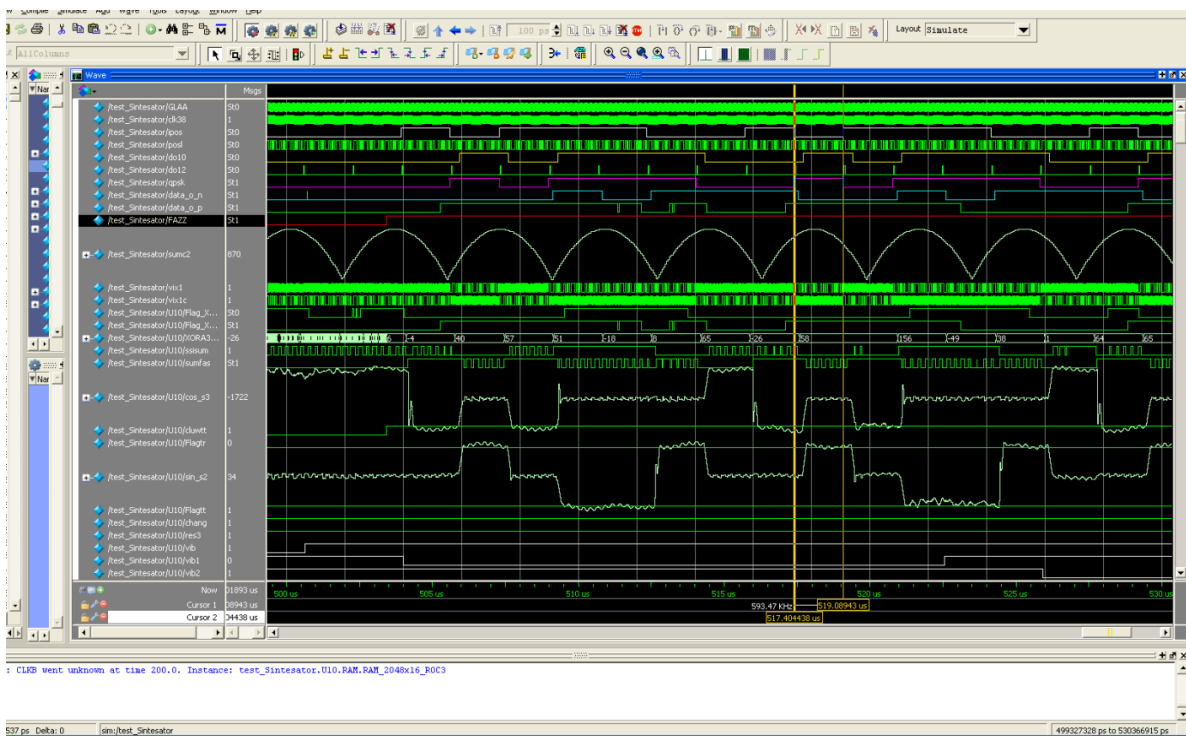


Рис. 6. Режим накопления по 64 импульсам при такте в 152 МГц в режиме QPSK, что может быть использовано для радиовысотомера при высоте полёта БПЛА в 250 - 400 метров для помехозащищённости от обнаружения сигнала РТР

Соответственно стоит вопрос о чувствительности и необходимой мощности сигнала такого радиовысотомера с учётом высоты полёта БПЛА до 400 метров. Отсюда вычислим необходимые параметры для радиовысотомера БПЛА

при обеспечении полосы пропускания не менее 38 МГц без накопления зондирующих импульсов. В этом случае считаем коэффициент усиления луча антенны радиовысотомера БПЛА $G_{\text{прдл}} = G_{\text{прм}} = G = 3$ (5 дБ), такой коэффициент

усиления имеет антенна мобильного устройства на основе одного патч в худшем случае. Мощность от усилителя SZA 2044 (2-2,7 ГГц) составит $P_{прди}=1$ Вт. Выбор малой мощности передатчика, особенно при работе в импульсном режиме позволяет исключить наведение по источнику сигнала противорадиолокационных ракет. В данном случае желательно иметь несущую частоту порядка 2,7 ГГц, так как в этом

случае отражение от подстилающей поверхности Земли также выше. Соответственно считаем эффективную поверхность отражения порядка $\sigma = 1 \text{ м}^2$. Выбираем отношение сигнал/шум $q=27$ (вероятность ошибки для ФКМ сигнала 10^{-7} по рисунку 7 [6], при шумовой температуре $T_{ш}=600$ К, соответственно в формуле k – постоянная Больцмана, частота $f_u = 2,7$ ГГц (длина волны $\lambda_u = 0,111 \text{ м}$).

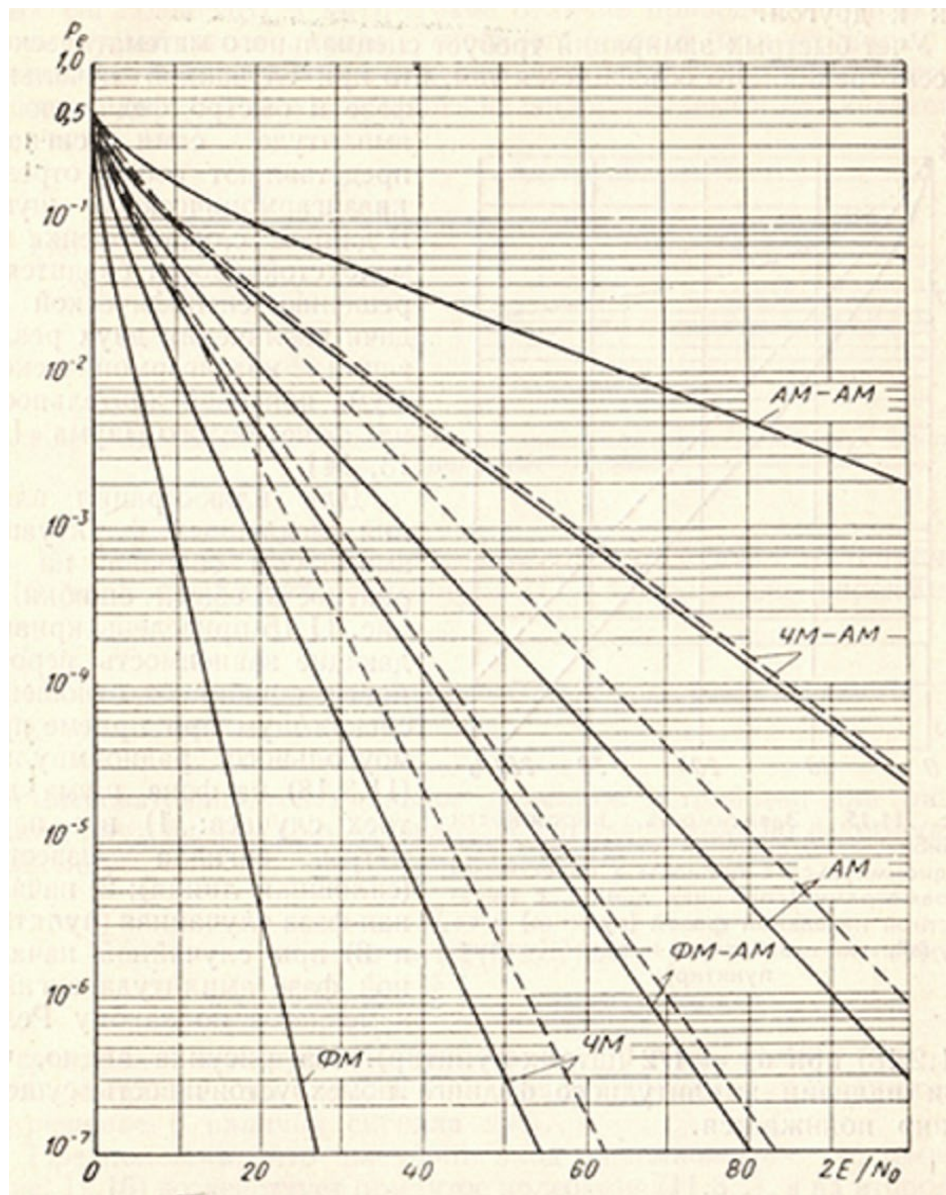


Рис. 7. Вероятность общей ошибки для различных систем радиотелеграфии при приёме на фоне шума детерминированных сигналов (сплошные линии) и сигналов со случайной начальной фазой (пунктир)

Отсюда имеем желаемую полосу пропускания:

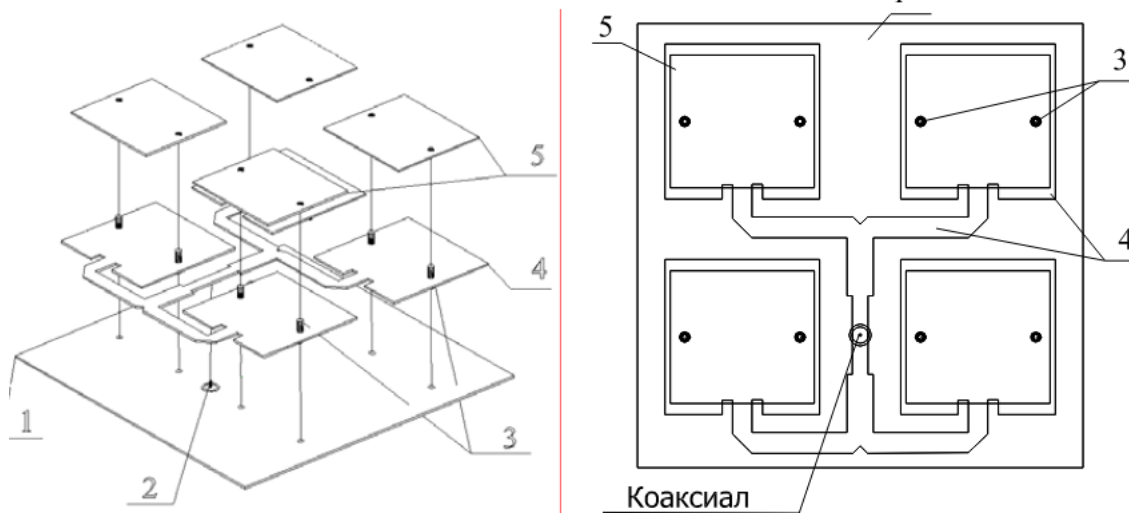
$$\begin{aligned}
 F_{прми} &= P_{прди} \times G_{прди} \times G_{прм} \times \lambda_u^2 \times \sigma / [(4 \times \pi)^2 \times q \times k \times T_{ш} \times D_u^4] = \\
 &= 1 \times 3 \times 3 \times (0,111)^2 \times 1 / [(4 \times \pi)^2 \times 27 \times 1,38 \times 10^{-23} \times 600 \times (0,4 \times 10^3)^4] = 38 \text{ МГц}.
 \end{aligned}
 \tag{1}$$

Однако возможен вариант использования антенны радиовысотомера состоящей из 4-х

патч размерами 16,5 см×16,5 см. Например, для связи в [7] используется диапазон 2,35 ГГц - 2,55

ГГц (при полосе пропускания 200 МГц, что позволяет менять по случайному закону значение

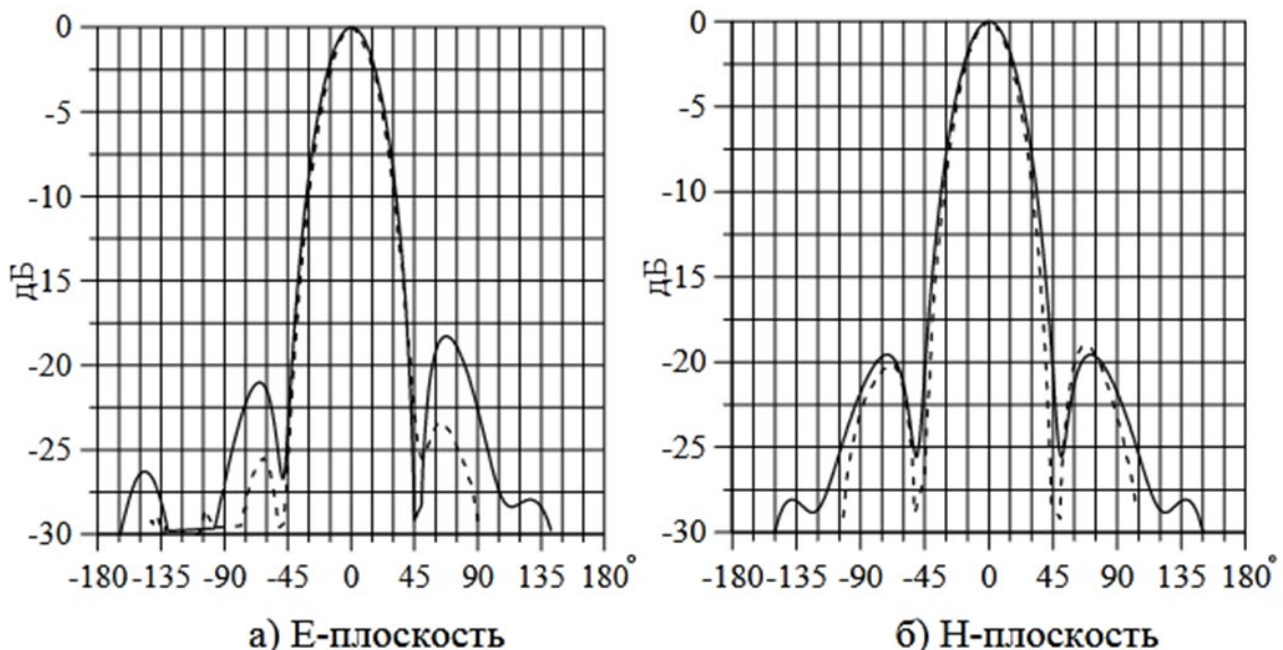
несущей частоты) с коэффициентом усиления порядка 14,5 дБ при КСВН < 1,2, рисунок 8,9.



а) вид сбоку

б) вид сверху

Рис. 8. 4-х элементная АФАР с воздушным заполнением



а) Е-плоскость

б) Н-плоскость

Рис. 9. Антенна из 4-х элементов патч, моделирование – это сплошные линии, штриховые линии – это экспериментальные с шириной диаграммы направленности в 34 градуса

В этом случае можно снизить мощность излучения в 88 раз или улучшить отношение сигнал/шум. Соответственно здесь улучшается помехозащищённость и снижается вероятность поражения радиолокационной ракетой. При накоплении зондирующих импульсов можно обеспечить точность определения высоты до 0,1 метра с использованием сплайнов по 3-4 потокам внутри ПЛИС разнесённым с задержкой на такт в 150 МГц, значения которых будут вычисляться в процессоре внешнего управления.

Таким образом, предлагаемый микромодуль с учётом переноса частот в полосу 2-2,7 ГГц позволяет выполнять и функции радиовысотомера с необходимой точностью и высокой помехозащищённостью. Так как функции радиовысотомера и радиуправления с передачей изображения необходимы и для народнохозяйственных задач, то использование общего микромодуля позволяет снизить расходы.

Ещё одним слабым местом в современных БПЛА является точное определение местоположения с обеспечением высокой

помехозащищённости от средств РЭБ. Не секрет, что сигналы GPS (ГЛОНАСС) могут быть легко подавлены обычным перизлучением сигналов GPS (ГЛОНАСС) из нескольких точек не считая использования обычных шумовых сигналов. В [8] мы рассматривали помехозащищённые варианты определения местоположения на основе низкоорбитальных спутниковых систем связи (НССС) при использовании нашего микромодуля с учётом быстрой фазовой автоподстройки по частоте Доплера [9] при оптимальном конструктивном выполнении космического аппарата (КА) с учётом расположения антенн [10]. Этот вариант в [8] является не только помехозащищённым, но и многофункциональным, а также обеспечивает большую точность навигации. Однако создание космической группировки в 98 КА требует достаточно много времени. Поэтому на данном этапе против помех используется автономная инерциальная система. Она осуществляется с помощью:

1) датчиков линейного ускорения (акселерометров);

2) гироскопических устройств, воспроизводящих на объекте систему отсчёта (например, с помощью гиростабилизированной платформы) и позволяющих определять углы поворота и наклона объекта, используемые для его стабилизации и управления движением.

3) вычислительных устройств (ЭВМ), которые по ускорениям (путём их интегрирования) находят скорость объекта, его координаты и др. параметры движения.

Преимущества методов инерциальной навигации состоят в автономности, помехозащищённости и возможности полной автоматизации всех процессов навигации.

Поэтому инерциальная навигация используется в военных целях: в крылатых ракетах и БПЛА, в случае радиоэлектронного противодействия противника. Как только система навигации крылатой ракеты или БПЛА обнаруживает воздействие средств РЭБ противника, блокировку или искажение сигнала GPS (ГЛОНАСС), она запоминает последние координаты и переключается на инерциальную систему навигации. Однако инерциальная система навигации имеет накапливаемую ошибку. Поэтому, сейчас в целях восполнения точности наведения БПЛА и определения его местоположения, с учётом помехозащищённости, приходится высискивать пути, позволяющие достигать необходимую точность

наведения и определения местоположения, за счёт использования как наземных «реперных» точек (точка привязки измерений) с изначальным точным определением их местоположения, так и подвижных «реперных» точек (например, дополнительные БПЛА), в зоне пролёта которых влияние помех не наблюдается, и которые находятся в пределах прямой видимости ведомого БПЛА. Понятно, что в случае подвижных реперных точек метод навигации может быть основан на использовании нескольких летательных аппаратов, местоположение которых достаточно точно определяется по методу навигации, по аналогии с методом, который используется для КА GPS (ГЛОНАСС). Возможен также вариант непосредственного радиоуправления БПЛА по передаваемому от БПЛА изображению местности, но из-за дальности и изменяемого рельефа местности может потребоваться использование промежуточных БПЛА в качестве ретрансляторов сигнала. Отметим, что запросно-ответная система на основе суммарно-разностного дальномерного метода [8], рассмотренная с применением КА, позволяет существенно поднять помехозащищённость, в силу использования различного кодирования, изменения несущей частоты, а также позволяет исключить возможность наведения противорадиолокационными ракетами в силу недостижимости высоты орбит. При этом, средства радиотехнической разведки (РТР) не смогут выделить такой псевдослучайный навигационный сигнал от КА из шумов. Но так как в настоящее время группировка КА НССС отсутствует, то в случае скрытного полёта БПЛА более предпочтителен вариант, когда на дистанциях порядка 400 км от систем радиоуправления при сложном рельефе местности используются наземные стационарные реперные точки. Они будут включаться по кодовому сигналу от БПЛА, и работать по запросно-ответной схеме с помощью суммарно-разностного дальномерного метода предложенного в [8], но с учётом определения дальности. Рассмотрим использование предлагаемого метода навигации, при наличии реперных точек на Земле с учётом полёта БПЛА на высоте порядка 50 м по формуле [11], где L – расстояние прямой видимости [км], а h – высота полёта [м]:

$$L = 3,57 \times h^{0,5} = 3,57 \times 50^{0,5} = 25 \text{ км.} \quad (2)$$

В этом случае размещение реперной точки должно лежать в радиусе от БПЛА не более чем в 25 км. Само местоположение реперной точки может быть определено с высокой точностью.

Так, даже для гражданских пользователей по системе ГЛОНАСС точность наведения может составлять 2,8 метра [12]. При этом, определение местоположения реперной точки осуществляется в момент времени отсутствия помех, так как в противном случае при непрерывной постановке помех системе ГЛОНАСС на источник помех будет вначале наводиться противорадиолокационная ракета или БПЛА. Доставка микромодуля определения местоположения в точку назначения может обеспечиваться через сброс с барражирующего БПЛА разведки или ракеты, или иным способом, например, при закладке микромодуля реперной точки диверсантом. Соответственно, в случае закладки микромодуля диверсантом, определение местоположения микромодуля может достигать десятков сантиметров. После доставки, микромодуль осуществляет по системе ГЛОНАСС привязку к местоположению (если точка закладки по координатам неизвестна), и далее ждёт кодовый сигнал от БПЛА, которому необходимо определение местоположения для выполнения боевой задачи. Понятно, что привязка к местности на основе реперных точек с

высокой точностью может потребоваться и для выполнения народнохозяйственных задач, например, при доставке грузов. Учитывая, что мы имеем частный случай определения местоположения БПЛА на основе реперных точек, то рассмотрим его более подробно.

Вначале оценим необходимую наименьшую длительность кода для связи перед навигацией для определения местоположения БПЛА. Будем считать, что как на БПЛА, так и на микромодуле для определения местоположения желательное использование антенны с приёмом со всех сторон $G=0,5$ (-3 дБ), что соответствует параметрам антенны мобильного устройства Iridium. Мощность передатчика $P_{\text{прд}}=1$ Вт (усилитель SZA 2044) как в микромодуле в реперной точке, так и в микромодуле БПЛА при частоте $f=2,7$ ГГц ($\lambda=0,111$ м). Тогда, при дальности $D=25$ км, и отношении сигнал/шум $q=27$ (вероятность ошибки для ФКМ сигнала 10^{-7} по рисунку 7, шумовой температуре $T_{\text{ш}}=600$ К, здесь k – постоянная Больцмана, необходимая полоса частот устройства для возможного приёма кодового сигнала навигации (потока информации) вычисляется по формуле:

$$F_{\text{прм}} = P_{\text{прд}} \times G^2 \times \lambda^2 / [(4 \times \pi)^2 \times q \times k \times T_{\text{ш}} \times D^2] = \\ = 1 \times 0,5^2 \times (0,111)^2 / [(4 \times \pi)^2 \times 27 \times 1,38 \times 10^{-23} \times 600 \times (2,5 \times 10^4)^2] = 0,1396 \text{ МГц.} \quad (3)$$

Практически полоса пропускания в 0,1396 МГц соответствует длительности кодового сигнала порядка 10 мксек с обеспечением нужной чувствительности, что позволяет формировать коды ФКМ порядка 380-500 бит при нашей обработке в ПЛИС со скоростью 38-50 Мбит/сек. В этом случае если работают средства РТР, то при этой же полосе пропускания вероятность ошибки при выделении сигнала из шумов по амплитуде и случайной фазе будет меньше, чем 10^{-2} по рисунку 7. Однако, так как мы имеем псевдослучайный кодовый сигнал с длительностью символа 0,0266 мксек с полосой 38 МГц, то это ухудшает для средств РТР отношение сигнал/шум с полосой пропускания в 38 МГц ещё в 272 раза. При этом, при возможной полосе частот БПЛА от 175 МГц до 10 ГГц (а информации о том, какой БПЛА прорывает оборону и какие он использует частоты сигнала неизвестно) общее количество требуемых параллельных фильтров РТР составит порядка 264 фильтра и с учётом направленных антенн разного диапазона частот мы будем иметь внушительные массо-габаритные характеристики средств РТР. Понятно, что если средствам РТР известна априорно несущая частота, то для

обнаружения сигнала возможен вариант выделения по двойной частоте Доплера в случае ФКМ сигнала. Однако при полосе пропускания фильтра для обнаружения даже в 100 кГц потребуются при параллельной обработке в полосе 38 МГц иметь 380 фильтров, а это даже больше, чем 264 фильтра при перекрытии полосы в 10 ГГц. При последовательном поиске сигнала фильтром с полосой 100 кГц в полосе 38 МГц потребуются время не менее 380×10 мксек=3,8 мсек. Для подтверждения достоверности сигнала потребуются время в 2-3 раза больше, а это 7,6-11,4 мсек. Так как время подстройки по частоте Доплера для когерентной обработки у нас не превышает 100 мксек [9], то после подстройки по коду при коде в 380 бит имеем общее время подстройки $380 \text{ бит} \times 10 \text{ мксек} + 100 \text{ мксек} = 3,9 \text{ мсек}$. Но для ускорения времени подстройки по коду можно использовать изменение скорости передачи кода от бит с большой длительностью по времени до более коротких. А далее для исключения выделения сигнала по двойной частоте средствами РТР в качестве сигнала информации можно использовать ЛЧМ сигнал, так как синхронизация по времени уже обеспечена. Кроме того, после

подстройки с синхронизацией по коду мы можем использовать код уже длительностью в 100 мксек в 3800-5000 бит или в 1 мсек с кодом 38000-50000 бит, что позволит снизить мощность навигационного сигнала в 10-100 раз. Более того после подстройки по коду и частоте за счёт синтезатора доплеровской частоты внутри ПЛИС с сохранением значения фазы, мы можем использовать ещё априорное смещение по частоте на 10 - 100 кГц через каждые 0,1 - 1 мсек. Иными словами вероятность обнаружения нашего сигнала даже на этапе начальной подстройки не превышает значения в 0,5. После включения режима с перестраиваемыми параметрами это вероятность практически будет равна нулю. Если этап режима первоначальной синхронизации осуществляется ещё на этапе запуска БПЛА, то возможности его обнаружения средствами РТР крайне низки и

$$F_d = 2 \times V_{\text{бпла}} \times f/c = 2 \times 69,45 \times 2,7 \times 10^9 / (3 \times 10^8) = 1,25 \text{ кГц.} \quad (4)$$

Это означает, что мы также можем использовать длительность кодового сигнала для связи БПЛА с микромодулем маркерной точки в период начала связи и отсутствия символической синхронизации по коду как минимум в 100 мксек, что сужает полосу до 10 кГц, со снижением мощности передатчика в десять раз как в БПЛА так и в микромодуле реперной точки. Напомним, что в начальный момент связи БПЛА с реперной точкой, подстройка по частоте Доплера в нашей программе в ПЛИС может осуществляться отдельно от подстройки по коду, а это означает, что сначала может производиться захват частоты Доплера по ФАПЧ, а уж потом символическая синхронизация сначала на основе кодов с малым количеством бит, с дальнейшим переходом к большому количеству бит. После подстройки мы уже можем менять частоту по определённому закону каждые 10 - 100 мксек, например, на 10-100 кГц с изменением и без изменения кода. Это исключает регулярные составляющие для выделения средствами РТР. При этом, общая длительность кода для связи может быть увеличена до 1 мсек и более, с понижением во столько же раз мощности передатчика, что также практически исключит возможность выделения сигнала микромодуля реперной точки средствами РТР. Понятно, что микромодуль реперной точки должен включаться в момент прохождения БПЛА в данной местности, и чтобы это обеспечить, можно использовать СМС-сообщения от КА системы связи Гонец или использовать

экономически невыгодны, так как средствам РТР в автоматическом режиме для принятия решения нужна повторяемость результата (регулярная составляющая). При этом, если средство РТР располагается на дальности от БПЛА в 25 км, то шум будет превосходить выделяемый сигнал и даже если средства РТР смогли выделить сигнал из шумов в течение 1 - 10 мсек, то они его потеряют, так неизвестен закон изменения параметров сигнала, по амплитуде (сигнал управления прерывается во времени), частоте и фазе. Этот закон известен только БПЛА и пункту управления. Напомним, что в ГЛОНАСС используются кодовые сигналы в 512 бит, при длительности кода в 1 мсек. Соответственно теперь, вычислим доплеровскую частоту F_d при скорости БПЛА в 250 км/час ($V_{\text{бпла}}=69,45$ м/сек) и несущей частоте $f=2,7$ ГГц по формуле:

заранее определённые временные рамки включения и отключения. Кроме того, синхронизация часов БПЛА и реперной точки через систему Гонец с учётом их местоположения в данный момент времени (даже в некоторых широких пределах точности) позволит также сократить время первоначальной подстройки. При этом с целью улучшения помехозащищённости несущая частота сигналов самих СМС-сообщений также может меняться во времени по определённому закону.

Соответственно теперь необходимо рассмотреть саму схему определения местоположения по реперным точкам, так как мы предполагаем вариант подавления сигналов от ГЛОНАСС средствами РЭБ в месте пролёта БПЛА. С этой целью разберём возможные варианты навигации по [8], но с учётом использования реперных точек. Учитывая, что расстояние от реперных точек до БПЛА не превышает 25 км, то в этом случае ухудшением точности определения координат БПЛА в зависимости от несущей частоты сигнала при распространении в среде можно пренебречь. Достоинством небольшой дальности является снижение влияния среды, и тогда можно использовать одночастотный режим для навигации или использовать двухчастотный режим, но с разнесением во времени, учитывая низкую скорость БПЛА.

Таким образом, при известном местоположении трёх реперных точек и использовании запросно-ответной системы, нам известны расстояния от БПЛА до реперных точек. А

отсюда строится треугольник по пересечению окружностей от известных расстояний от реперных точек до БПЛА. И это позволяет определять однозначно местоположение БПЛА, решая систему уравнений по наличию общей

точки пересечения от этих окружностей. Для рассмотрения как получаются необходимые окружности, рассмотрим известный разностно-дальномерный метод, рисунок 10.

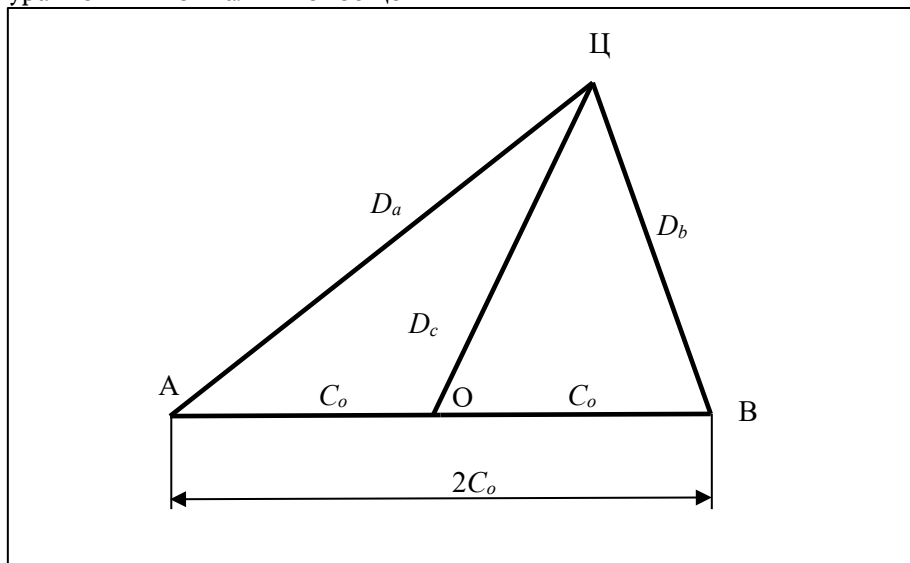


Рис. 10. Разностно-дальномерный метод

Этот метод измерения по задержкам, который является разностно-дальномерным методом, описан в [13]. Здесь измерение дальности осуществляется по формуле:

$$D_c = (2C_o - \Delta D_a^2 - \Delta D_b^2) / [2(\Delta D_a + \Delta D_b)]. \quad (5)$$

Где: $2C_o$ - расстояние между двумя реперными точками в метрах, $\Delta D_a = \tau_{за}c - C_o = D_a$ - разность дальности до БПЛА (точка Ц) между пунктами, расположенными в точке А (первая точка) и В (вторая точка), учитывающего при расчёте значение базы C_o между пунктами и время задержки $\tau_{за}$. $\Delta D_b = \tau_{зб}c - C_o = D_b$ - разность дальности до БПЛА (точка Ц) между пунктами, расположенными в точка А и В, учитывающего при расчёте значение базы C_o между пунктами и время задержки $\tau_{зб}$. Однако, в методе навигации по ГЛОНАСС (GPS) нам неизвестны значения $\tau_{за}$ и $\tau_{зб}$, а известно значение разности $\Delta\tau_{аб} = \tau_{за} - \tau_{зб}$. В случае с двумя реперными точками нам известны все расстояния треугольника благодаря запросно-ответному методу и медиана D_c вычисляется по формуле по теореме косинусов:

$$D_c = (D_a^2/2 + D_b^2/2 - C_o^2/4)^{1/2} \quad (6)$$

Соответственно медиана D_c от двух реперных точек с учётом вершины треугольника в точке БПЛА даст окружность. При трёх реперных точках с известными их местоположениями мы получим одну общую точку пересечения в месте нахождения БПЛА. Однако интерес представляет сокращение реперных точек вплоть до одной реперной точки. В этом случае

реперная точка как бы становится вершиной, которая ранее относилась к БПЛА, а три точки отсчёта пролёта БПЛА при замере дальности по запросно-ответной системе играют роль реперных точек, координаты которых известны относительно точки первого замера дальности за счёт автономной инерциальной системы. Иными словами нам известны точно местоположения двух точек БПЛА относительно местоположения первой точки БПЛА, а также известны дальности до реперной точки и остаётся определить местоположение первой точки замера дальности от БПЛА до реперной точки. Эта задача аналогична, решаемой выше задаче.

При использовании вместо КА НССС реперной точки на Земле, нет необходимости в синхронизации часов, благодаря запросно-ответной системе для определения дальности, когда БПЛА излучает некоторый сигнал на некоторой частоте, а реперная точка его принимает, и через известное время задержки, которое вычисляется в относительных временных единицах от приёма до начала передачи (то есть, нестабильность кварцевого генератора определяется исходя из времени обработки сигнала при приёме), излучает ответный сигнал возможно также на другой частоте и с другим кодом. Как мы отмечали выше длительность сигнала по формуле (3) может лежать в пределах от 10 мксек до 1 млсек $T_{код}$. Время распространения от БПЛА до реперной точки не превысит $T_{распр}=0,3$ млсек (30 км). Далее мы имеем время

на обработку сигнала с учётом задержки в устройстве на приём и передачу $T_{обр} = T_{код} + T_{устр}$ (при наличии подстройки) и излучается сигнал $T_{код1}$. В итоге общее время на задержку в приёме ответного сигнала составит $T_{о-з} = 2 \times T_{распр} + T_{обр}$. Величина $T_{обр}$ и $T_{о-з}$ известны, и отсюда мы вычисляем дальность от реперной точки до БПЛА. За время $T_{код} + 2 \times T_{распр} = 1,6$ мсек, БПЛА при скорости в 250 км/час будет пройдено 0,11 метра, что можно не учитывать (в принципе эта величина может быть учтена собственной инерциальной системой БПЛА), так как точность определения местоположения самой реперной точки по ГЛОНАСС составляет 2,8 метра. Все остальные измерения связаны с БПЛА и обработкой сигнала и могут иметь ошибку измерения менее 1 метра.

Следующей задачей, которая позволит сократить экономические издержки, есть задача унификации узлов БПЛА с учётом широкого класса их применения, что позволяет делать сборную конструкцию от простого варианта к сложному варианту. На рисунке 1 приведена наипростейшая функциональная схема узла радиуправления (микромодуль 1), которая может быть использована даже для БПЛА малых размеров. Как отмечалось выше, здесь приём сигнала для радиуправления может лежать вплоть до 1 ГГц, например, для приёма сигналов в полосе приёма системы связи «Гонец» может использоваться в качестве усилителя промежуточной частоты (УПЧ) микросхема AD8309 от 5 до 500 МГц с коэффициентом усиления в 100 дБ. Однако само радиуправление БПЛА может идти только с учётом данных от самого БПЛА, например его координатного положения или изображения местности. Здесь в функциональной схеме желательно было предусмотреть режим приёма и передачи как с разделением во времени, так и в дуплексном (одновременном) режиме с разделением по частотам приёма и передачи. Соответственно, чтобы принимать и передавать сигналы в дуплексном режиме необходимо иметь два синтезатора частоты, для раздельной подачи частот на аналоговый балансный модулятор и на аналоговый балансный демодулятор. При этом, так как аналоговый балансный модулятор с синтезатором частот будет использован для режима передачи информации, то подстройка по частоте Доплера для принимаемого сигнала должна осуществляться внутри самой ПЛИС. Это возможно сделать, если на АЦП будет подаваться преобразованный сигнал на промежуточной частоте порядка 20 МГц. При этом в

дуплексном режиме формирование необходимой гетеродинной частоты для аналогового балансного демодулятора осуществляется по программе в самой ПЛИС с дальнейшим переносом частоты за счёт умножителя, например, на 2, если тактовая выводимая от ПЛИС частота составляет 300 МГц или на 4, если от ПЛИС подаётся тактовая частота в 150 МГц. Отметим, что использовать ещё один отдельный синтезатор частоты нет необходимости, в силу того, что дуплексный режим используется для системы «Гонец» с малой скоростью передачи информации до 19,2 кбит/сек (промежуточная частота в 20 МГц допускает передачу информации до 7 Мбит/сек). Гетеродинная частота на аналоговый балансный модулятор выбирается от сигналов от устройства управления, как и режим переключения ключей в дуплексный режим. Соответственно для показа использования функциональной схемы по рисунку 1 в многофункциональном режиме остаётся выбрать параметры усилителей, которые могут быть использованы в БПЛА малого радиуса действия с малой массой и габаритами, но с соблюдением высокой помехозащищённости канала радиуправления. По формуле (3) при дальности в 25 км, частоте 2,7 ГГц и выходной мощности усилителя в 1 Вт, мы имели для приёма сигналов полосу пропускания в 0,1396 МГц, и это соответствует длительности кодового сигнала порядка 10 мсек с обеспечением нужной чувствительности, что позволяет формировать коды ФКМ порядка 380-500 бит при нашей обработке в ПЛИС. Однако при несущей частоте в 400 МГц, полоса пропускания (при той же вероятности ошибки) возрастёт в 45,5625 раз до 6,36 МГц. Это означает, что для БПЛА малой дальности действия для связи выгодно использовать низкие частоты до 1 ГГц. Надо отметить, что функциональная схема по рисунку 1 фактически имеет размещение радиоэлементов на одной стороне платы мобильного устройства, представленного на рисунке 2. Поэтому, при размещении радиоэлементов с двух сторон микромодуль 1 по рисунку 1 может быть выполнен под одним патч с размерами 7 см×7 см. При этом мы не учитываем возможности создания всего микромодуля 1 в качестве одной общей микросхемы.

Теперь оценим возможности по передаче изображений от БПЛА, так как такие БПЛА обычно используются для разведки и уничтожения целей при наведении по изображению. В случае высокого разрешения скорость передачи от БПЛА определяется по таблице 3 [14].

Таблица 3

Уровень сложности высокого разрешения

| Уровень сложности | Применимый стандарт (не включает другие варианты) | Разрешение по горизонтали, пикселей | Разрешение по вертикали, пикселей | Глубина пикселей, бит | Частота кадров, Гц | Кэф-фициент сжатия | Номинальная скорость канала передачи данных, Мбит/с | Диапазон скоростей передачи данных, Мбит/с | Возможная среда передачи (при номинальной скорости) |
|-------------------|--|-------------------------------------|-----------------------------------|-----------------------|--------------------|--------------------|---|--|---|
| MISM-L11 | SMPTE 296M-2001, Progressive modes of SMPTE 274M, 295M, 292M | 1280–1920 | 720p–1080p | 8 или 10 | 24–60 | 0 | 1485 | 360–2400 | SMPTE 292M, OC-48 |
| MISM-L10M | SMPTE 296M-2001, Progressive modes of SMPTE 274M, 295M MPEG-2 MP@HL | 1280–1920 | 720p–1080p | 8 | 24–60 | 10:1 | 80 | 34–100 | SDI, E3, T3, OC-12 |
| MISM-L10H | SMPTE 296M-2001, Progressive modes of SMPTE 274M, 295M H.264 MP@L4.1(8b) H.264 HP@L4.1 (8b) H.264 Hi10P@L4.1 (10b) | 1280–1920 | 720p–1080p | 8 или 10 | 24–60 | 20:1 | 40 | 17–50 | T3 |
| MISM-L9M | SMPTE 296M-2001, Progressive modes of SMPTE 274M, 295M MPEG-2 MP@HL | 1280–1920 | 720p–1080p | 8 | 24–60 | 45:1 | 19,4 | 10–44,7 | TCDL, Half to Full T3, ATM |
| MISM-L9H | SMPTE 296M-2001, Progressive modes of SMPTE 274M, 295M H.264MP@L3.2(720) H.264 MP@L4.0 H.264 HP@L4.0 | 1280–1920 | 720p–1080p | 8 | 24–60 | 80:1 | 10 | 5–20 | TCDL |

Это означает, что при несущей частоте в 0,4 ГГц для выполнения условий по MISM-L9H, требуется мощность передачи не менее 1 Вт при 5 Мбит/сек на дальности в 25 км. В этом случае известным аналогом усилителя для микромодуля 1 по рисунку 1 может быть TQP7M9103 с выходной мощностью 1 Вт, с полосой от 0,4 до 4 ГГц усилением 14,7 дБ, питанием в 5 В и потреблением тока 235 мА, или МААМ-010617 с полосой от 0,03 до 4 ГГц, питанием в 5 В, потреблением 440 мА и выходной мощностью 31 dBm, усилением 13 дБ. Но, чтобы полностью удовлетворить требованиям передачи сигнала по MISM-L9H при 20 Мбит/сек и несущей частоте в 0,4 ГГц необходимо увеличить коэффициент усиления антенн приёмо-передающего тракта с 0,5 раз (-3 дБ) до 2 раз (3 дБ), то есть в 4 раза при мощности в 1 Вт. Это вполне возможно, за счёт использования антенн, как при приёме, так и при передаче типа АО UHF (полуволновой вибратор) с круговой диаграммой направленности в горизонтальной плоскости, рабочим диапазоном от 0,4 до 0,48 МГц, полосой пропускания в 80 МГц при КСВ 1,5 и усилении 2,15 дБ (1,64 раза). При этом габариты антенны в см 50×3,5×3,5. И это даст

усиление за счёт антенн в $4 \times 2,69 = 10,758$ раз, что позволяет расширить полосу пропускания при обеспечении необходимой чувствительности даже до 68,42 МГц. Иными словами для передачи 20 Мбит/сек можно обойтись одной антенной типа АО UHF, например, на командном пункте управления. При наличии такой же антенны на БПЛА её желательно размещать в хвостовом оперении киля, но дополнительно можно использовать и крылья с корпусом, так как штыревая антенна имеет для этого удобную конфигурацию. То есть, при двух антеннах типа АО UHF (на БПЛА и командном пункте), мы можем выполнить требования по передаче сигнала для стандарта MISM-L10M со скоростью передачи данных 50 Мбит/сек при мощности сигнала 0,73 Вт. Аналогичный результат мы можем получить за счёт повышения мощности передатчика до 8 Вт при антеннах в -3 дБ (собственно 8 Вт требуется и для связи с системой Гонец по таблице 1 и соответственно уже есть усилитель мощности в этом диапазоне частот). Действительно, по формуле (3) при дальности 25 км на частоте 400 МГц ($\lambda_1 = 0,75\text{м}$), при мощности сигнала в 8 Вт получаем:

$$F_{\text{прм1}} = P_{\text{прд1}} \times G^2 \times \lambda_1^2 / [(4 \times \pi)^2 \times q \times k \times T_{\text{ш}} \times D^2] = 8 \times 0,5^2 \times (0,75)^2 / [(4 \times \pi)^2 \times 27 \times 1,38 \times 10^{-23} \times 600 \times (2,5 \times 10^4)^2] = 50,88 \text{ МГц.} \tag{7}$$

Отметим, что для связи GSM ещё в 1986 году США выделили полосу в 50 МГц. В этом случае в микромодуле 1 мы используем УПЧ (ad8309) с полосой частот в 500 МГц. Кроме того

микромодуль 1 может замещать бортовую радиолокационную систему картографирования «СКАТ-ЛИРА-Р», которая показана на рисунке 11.

Бортовая радиолокационная система картографирования «СКАТ-ЛИРА-Р»



Система «СКАТ-ЛИРА-Р» предназначена для бортовых систем картографирования, навигации и предупреждения столкновений и разработана на базе цифровой РЛС и универсального коммуникационного вычислительного модуля.

Рис. 11. Система «СКАТ-ЛИРА-Р»

Она имеет характеристики, показанные на рисунке 12.

Диапазон рабочих частот, (МГц); от 400 до 500
 Мощность передатчика, (дБм); от - 3 до + 3
 Вид зондирующих сигналов монохроматический импульс;
 импульс с ЛЧМ, ФКМ, FMCW
 Частота опорного синхросигнала, (МГц); 100
 Относительная нестабильность частоты опорного синхросигнала на одну секунду (вариация Аллана); $10e-11$
 SFDR выходного сигнала, (дБ); 55
 СКО начальной фазы сигнала при измерении на интервале не менее 100 с, (град)., не менее; 10
 Макс. мощность сигнала на входе приемных каналов, (дБм); 10
 SFDR АЦП, (дБ); 60
 Эффективная разрядность АЦП, (бит); 10
 Сигналы управления РЛС: LVDS
 Информационные потоки курсовой камеры, приемника ГНСС: UDP 100BASE-T IEEE-802.3
 Интерфейс к бортовому контроллеру (автопилоту) и блоку датчиков навигации: RS-232 или RS-485
 Интерфейс передачи данных: UDP 1000BASE-T IEEE-802.3
 Интерфейс управления: RS-485, 921600 бит/с

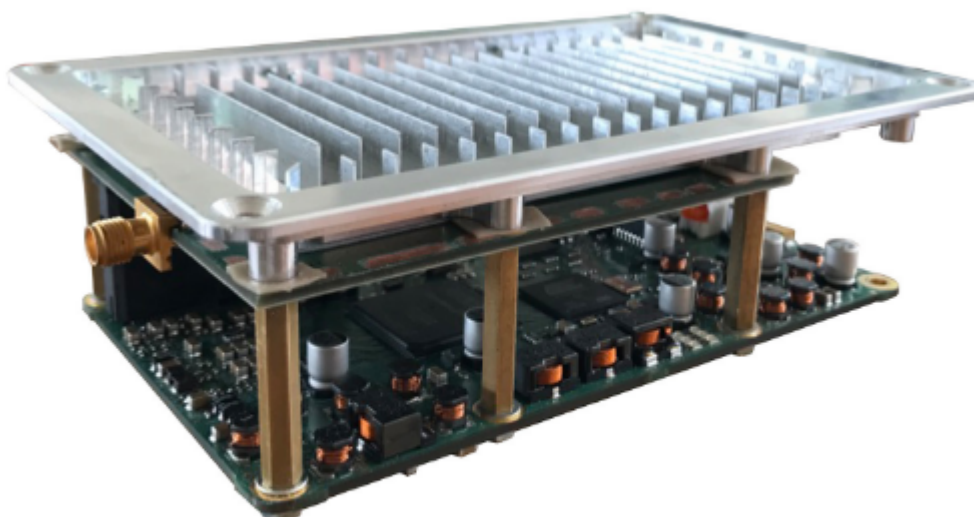
Рис. 12. Характеристики бортовой радиолокационной системы картографирования «СКАТ-ЛИРА-Р»

Отметим, что в малоразмерных БПЛА малой дальности также могут использоваться варианты для обзора местности, но с меньшим разрешением и скоростью. В этом случае для передачи изображения используется передача информации при разрешении 1920×1080 с 12-разрядным представлением пикселей. При этом за счёт сжатия 10:1 и скорости обновления изображений всего один или два кадра в секунду требуемая пропускная способность ограничивается 56-512 кбит/сек при требуемой вероятности ошибки на уровне 10^{-7} – 10^{-6} [14]. Отсюда мы можем снизить требования к усилителю по рисунку 1 до выходной мощности в 0,1 Вт при передаче информации в 0,636 Мбит/сек на дальности в 25 км и при несущей частоте в 0,4 ГГц и антеннах в -3 дБ. В этом случае, в качестве аналога выходного усилителя возможно использование усилителя НМС374 от 0,3 МГц до 3 ГГц с выходной мощностью в 22 дБм (0,158 Вт) усилением в 15 дБ с питанием от 2,7 до 5,5 В. Возможно также использование ADL5320 с полосой 0,4-2,7 ГГц с выходной мощностью 0,25 Вт, усилением 16 дБ с питанием 3,3 В-5 В с током потребления 44 мА-104 мА. Отсюда получается, что по рисунку 1 мы можем для передачи изображения в полосе 0,3-1 ГГц использовать вначале усилитель типа НМС374 с мощностью в 0,1 Вт. При повышении требования к качеству изображения к микромодулю по рисунку 1 на выходе усилитель НМС374 подсоединить к усилителю TQP7M9103 в полосе передачи 0,4-1 ГГц и мощностью 1 Вт. В этом случае можно передавать сигнал изображения не только в цифровом виде, но и в аналоговом виде аналогично телевизионному изображению. Надо отметить, что в [1] мы также рассмотрели возможность использования подстройки по частоте Доплера внутри ПЛИС и это обеспечивает приём сигналов со скоростью передачи информации порядка 7 Мбит/сек. Поэтому в полосе от 0,3 ГГц до 0,44 ГГц в микромодуле 1 по рисунку 1 возможен вариант использования дуплексной связи. Так в ПЛИС АЗРЕ3000L может формироваться тактовая частота в 152 МГц, соответственно по рисунку 1 синтезатор частот от ПЛИС должен генерировать частоту в 608 МГц за счёт внешнего умножителя частоты на 4 с поступлением сигнала на балансный демодулятор ad8348. Это даёт в балансном демодуляторе ad8348 после деления на 2 необходимые частоты в 304 МГц с

наличием гетеродинного сигнала по синусу и косинусу в прямом и инверсном виде. При этом, сигнал на промежуточной частоте, поступающий на АЦП может быть порядка 20 МГц при частоте входного сигнала на УПЧ (AD8310) в 324 МГц. Для формирования гетеродинной частоты в 440 МГц в синтезаторе частот от ПЛИС используется тактовая частота 228 МГц, а затем используется умножитель на 4, что даст частоту сигнала на ad8348 в 912 МГц. В балансном демодуляторе формируется частота в 456 МГц. Соответственно на АЦП будет также поступать сигнал промежуточной частоты в 20 МГц при входном сигнале на УПЧ в 436 МГц с возможной полосой пропускания в 7 МГц. Таким образом, мы имеем аналогию дуплексной связи организованной в системе «Гонец». Соответственно, микромодуль 1 по рисунку 1 может выполнять следующие функции:

1. Радиоуправление БПЛА на основе джойстика с обеспечением помехоустойчивости.
2. Может передавать от БПЛА изображение местности, как в цифровом, так и в аналоговом виде в дуплексном режиме с радиоуправлением, а также и в режиме раздельного приёма-передачи во времени.
3. Определяет высоту полёта БПЛА с точностью до 0,1 метра.
4. Позволяет при наличии автономной инерциальной системы на БПЛА обеспечить наведение на цель не по изображению и радиоуправлению, а на основе заброшенных реперных точек.
5. Может использоваться для связи между абонентами в дуплексном режиме так и в режиме разделения во времени по приёму и передаче.
6. Позволяет формировать помехи средствам РЭС данного диапазона частот.
7. Замещать приёмопередающий тракт бортовой радиолокационной системы картографирования «СКАТ-ЛИРА-Р».

На основании выполняемых функций микромодулем 1, а также с учётом варианта микромодуля 1 с преобразованием по частоте аналогично мобильному устройству по рисунку 2, мы можем провести сравнение по характеристикам нашего устройства, с известным радиомодемом в устройстве с управлением E2E4 KNUKRI STEALTH, используемым для БПЛА на малых дальностях по рисунку 13.



Размер, включая радио-модуль (мм): 140x80x40;
Вес (гр): 150;

Максимальная мощность (Вт): 0.3;
Диапазон частот (МГц): 3400-3600 полоса до 28 МГц
Временной дуплекс с изменяемым соотношением
восходящего и нисходящего трафика
Полоса частот (МГц): 7,14,28;
Чувствительность/скорость для полосы (МГц): 7;

ШПС = -105 дБм / 550 кбит в секунду
QPSK 1/2 = -88 дБм / 4500 кбит в секунду
QPSK 3/4 = -85 дБм / 6750 кбит в секунду
QAM16 1/2 = -81 дБм / 9000 кбит в секунду
QAM16 3/4 = -77 дБм / 13500 кбит в секунду
QAM64 2/3 = -73 дБм / 18000 кбит в секунду

Рис. 13. Используемый радиомодем для передачи информации в БПЛА малой дальности

Мы видим, что поток информации здесь от 0,55 Мбит/сек до 18 Мбит/сек. При этом сам

БПЛА с антеннами имеет следующий вид по рисунку 14.



Рис. 14. Антенна БПЛА

Если исходить из габаритных размеров, то радиомодуль в виде микромодуля 1 является одной стороной платы используемой в мобильном устройстве по рисунку 2 и будет иметь размеры не более 14 см×7 см×0,5 см. То есть, он прекрасно заменит радиомодуль в устройстве E2E4 KHUKRI STEALTH и будет выполнять функции приёмника и передатчика. Кроме того, если рассматривать вариант с добавлением переноса частоты как в мобильном устройстве по рисунку 2, с двусторонним размещением радиоэлементов, то наше устройство позволит работать в диапазоне от 175 МГц до 500 МГц, а также и в других диапазонах от 500 МГц до 4 ГГц. Это означает, что наше устройство имеет лучшие характеристики по помехозащищённости, так как радиомодуль в устройстве E2E4 KHUKRI STEALTH хоть и имеет диапазон частот 3,4-3,6 ГГц, но при этом имеет

полосу пропускания всего 28 МГц. В нашем варианте полоса пропускания может достигать до 50 МГц, а перестройка частоты может осуществляться от 175 МГц до 4 ГГц. При этом мы перекрываем диапазон 3,4-3,6 ГГц и антенна диапазона 0,4-0,48 ГГц может встраиваться в БПЛА отдельно и независимо, так как имеет штыревой вид.

Однако для сравнения с нашим вариантом проведём расчёт полосы пропускной способности при заданной чувствительности для варианта радиомодуля устройства E2E4 KHUKRI STEALTH при мощности в 0,3 Вт, коэффициенте усиления антенны БПЛА в 6 дБ (3,98 раз), коэффициенте усиления антенны наземного пункта БПЛА в 9 дБ (7,94 раза) при несущей частоте в 3,4 ГГц ($\lambda_{\text{бпЛА}} = 0,0882$ м), на дальности в 25 км, по формуле (8):

$$F_{\text{прмб}} = P_{\text{прдб}} \times G_{\text{прм}} \times G_{\text{прд}} \times \lambda_{\text{бпла}}^2 / [(4 \times \pi)^2 \times q \times k \times T_{\text{ш}} \times D^2] =$$

$$= 0,3 \times 7,94 \times 3,98 \times (0,0882)^2 / [(4 \times \pi)^2 \times 27 \times 1,38 \times 10^{-23} \times 600 \times (2,5 \times 10^4)^2] = 3,35 \text{ МГц.} \quad (8)$$

Это означает, что для приёма в заявленной полосе для шумоподобного сигнала (ФКМ) в 7 МГц (максимально используемый код будет в 13 бит для 0,55 МГц), мы должны снизить дальность до 17,3 км или необходимо поднять мощность сигнала с 0,3 Вт до 0,626 Вт или увеличить коэффициент усиления антенны в командном пункте управления в 2 раза. Здесь в целях корректного сравнения устройств мы пока не учитываем улучшения отношения сигнал/шум, за счёт накопления кода, а также улучшения при этом помехозащищённости. В системе GPS для военных целей используется код в 10000 символов вместо 1000 символов как в гражданском варианте. Напомним, что в нашем устройстве при частоте в 0,4 ГГц, дальности 25 км, мощности передатчика в 1 Вт и антеннах по -3 дБ мы имели полосу пропускания в 6,36 МГц. Однако при использовании антенн, как при приёме, так и при передаче типа АО UHF при их усилении 2,15 дБ (1,64 раза) получаем дополнительное усиление в 10,758 раз, что позволяет расширить полосу пропускания при обеспечении необходимой чувствительности до 68,4 МГц при мощности в 1 Вт. Если мы будем исходить из передачи кода сигнала не 7 Мбит/сек, как в радиомодуле устройства E2E4 KHUKRI STEALTH, а 38 Мбит/сек (уменьшение полосы в 1,8 раза по сравнению с полосой 68,4 МГц), то мы можем снизить мощность передатчика с 1 Вт до 0,555 Вт, что сравнимо с мощностью передатчика в 0,626 Вт устройства E2E4 KHUKRI STEALTH на дальности в 25 км. При этом наш код в случае передачи информации в 550 кбит/сек будет составлять 69 бит. Иными словами мы имеем выше помехозащищённость по коду в 5 раз, только благодаря возможности расширения полосы пропускания при той же чувствительности. При этом мы, как было отмечено в работе [9] имеем быструю подстройку по частоте за 100 мксек для получения когерентной обработки, и это даёт возможность перестраивать параметры за короткое время.

Оценим теперь эффективность введения режимов QPSK и QAM в устройстве E2E4 KHUKRI STEALTH. В режиме QPSK 1/2 ($\pi/2$) в устройстве E2E4 KHUKRI STEALTH наблюдается снижение чувствительности по сравнению с режимом ШПС (шумоподобный сигнал аналогичный

ФКМ) от -105 дБм до -88 дБм, то есть на 17 дБ. Потери от самого режима QPSK 1/2 ($\pi/2$) как это видно из рисунка 6 составляют 3 дБ (2 раза). При этом скорость передачи информации возрастает от 0,55 Мбит/сек до 4,5 Мбит/сек. Если бы мы просто увеличили бы скорость от 0,55 Мбит/сек до 4,5 Мбит/сек в режиме ФКМ (ШПС) без учёта кода, что даёт расширение полосы пропускания в 8,18 раз (9,13 дБ), то потери по чувствительности с учётом потерь от режима QPSK 1/2 ($\pi/2$) были бы в 12,25 раз (10,87 дБ). Отсюда видно, что использование кода даёт выигрыш 6,13 дБ (4,1 раз). Следующий режим QPSK 3/4 ($\pi/4$) должен был бы дать скорость передачи информации до 9 Мбит/сек, но он даёт 6,75 Мбит/сек, при этом потери также возрастают в 2 раза (3 дБ). То есть выигрыш по скорости передачи по сравнению с режимом QPSK 1/2 ($\pi/2$) будет всего в 1,5 раза, с ростом потерь в 2 раза. В режиме ФКМ увеличение скорости передачи информации в 2 раза сопровождалось бы такими же потерями в 2 раза. То есть использование режима QPSK 3/4 ($\pi/4$) даёт проигрыш с обычным расширением полосы в 1,3 раза. Для режима QAM 16 ситуация ещё хуже при скорости передачи в 9 Мбит/сек, что лучше по скорости передачи режима QPSK 3/4 ($\pi/4$) в 1,33 раза, мы имеем потери чувствительности до -81 дБм, то есть хуже режима QPSK 3/4 ($\pi/4$) в 2,5 раза (4 дБ). Для QAM 64 мы имеем увеличение скорости передачи до 18 Мбит/сек по сравнению с режимом QAM 16, но при этом потери возрастают в 6,3 раза (8 дБ). Итого, при максимальной скорости передачи информации в режиме QAM 64 для устройства E2E4 KHUKRI STEALTH, которая составляет 18 Мбит/сек при полосе 7 МГц мы имеем падение чувствительности от -105 дБм при ШПС до -73 дБм, то есть на 32 дБ (1584 раза) при этом скорость передачи возрастает только в 32,77 раза. Для ФКМ сигнала при передаче 18 Мбит/сек без кодов потери составили бы 15 дБ (32,7 раза), то есть линейный режим между ростом скорости передачи и потерями. Иными словами использование режима QAM 64 увеличивает потери в 48,44 раз по сравнению с режимом обычного расширения полосы за счёт ФКМ сигнала! Отсюда следует, что предлагаемый в устройстве E2E4 KHUKRI STEALTH способ увеличения скорости

передачи информации не является оптимальным и требуется предложить устройство с более оптимизированными радиотехническими параметрами.

Выше мы показали, что при дальности в 25 км с полосой в нашем случае в 38 МГц и полосой в 7 МГц для устройства E2E4 KHUKRI STEALTH мы имеем мощности передатчиков 0,555 Вт и 0,626 Вт соответственно. То есть, мы имеем равную чувствительность при передаче

сигнала, у нас она - 38 Мбит/сек, а в устройстве E2E4 KHUKRI STEALTH - 7 Мбит/сек. Понятно, что уже мы имеем выигрыш по скорости передачи в 5,42 раза. Однако, для удовлетворения максимальной скорости при передаче данных по стандарту MISM-L10M от 34 Мбит/сек до 100 Мбит/сек (таблица 3) нам также потребуется использовать режим QAM (рисунок 15) с увеличением энергопотенциала для компенсации потерь.

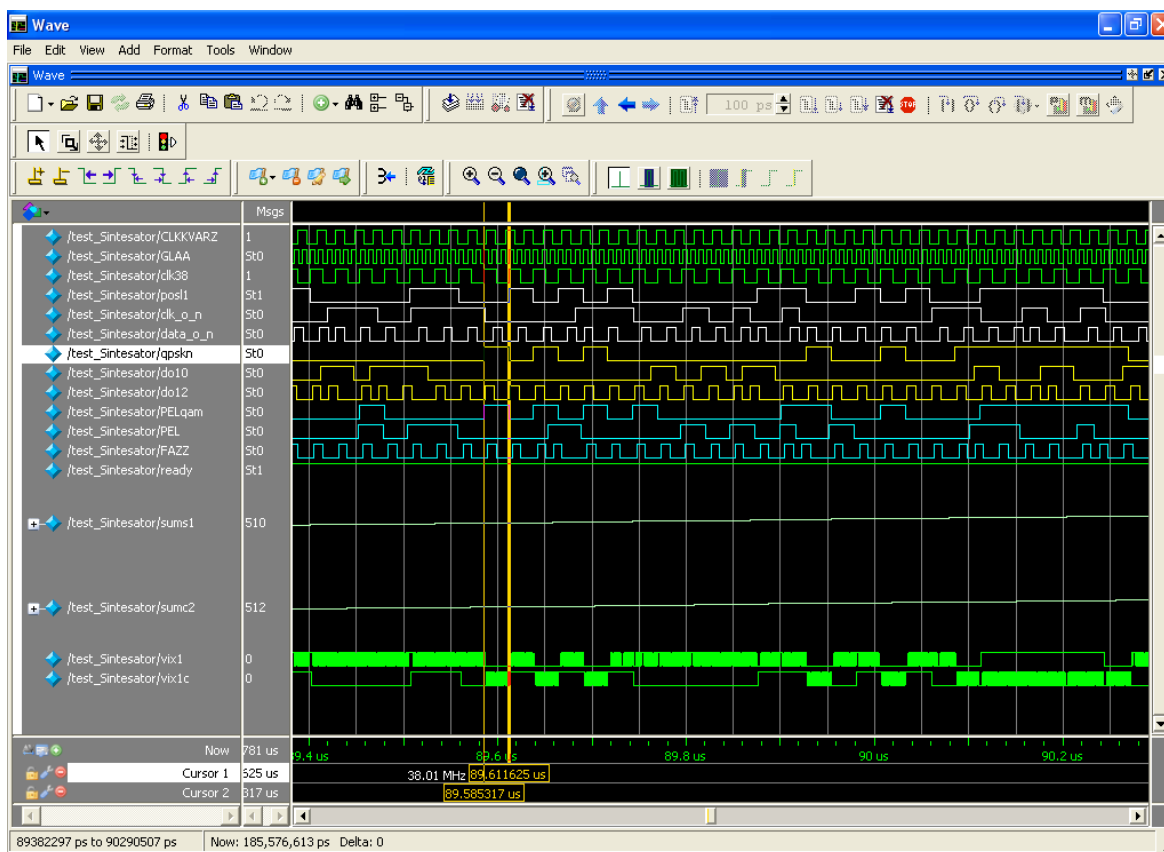


Рис. 15. Выделение сигнала QAM в ПЛИС при сдвиге по частоте Доплера в 23 кГц с общим потоком в 114 Мбит/сек

Для QPSK 1/2 ($\pi/2$) считаем что потери возрастут в два раза. Это видно по рисунку 6 за счёт того, что уровни сигнала не как в BPSK, например, от +1 В до -1 В, а от 1 В до 0 В, или от 0 В до -1 В. Для увеличения разрешения по амплитуде при АМ модуляции также требуется увеличить амплитуду сигнала, например с 1 В до 2 В, и это также потребует увеличение энергопотенциала в 2 раза. Отсюда, для QAM сигнала требуется увеличить энергопотенциал, либо за счёт коэффициента усиления приёмной антенны командного пункта ещё в 4 раза (6 дБ), либо увеличить мощность передатчика БПЛА с 0,555 Вт до 2,2 Вт. Для этого можно использовать суммирование от двух усилителей

мощности по 1 Вт типа TQP7M9103 с полосой 0,4 до 4 ГГц. Таким образом, сужение полосы пропускания со 114 МГц до 38 МГц в 3 раза, приведёт к возрастанию потерь в 4 раза с ухудшением по сравнению с обычным вариантом расширения полосы в 1,33 раза. Но, выигрыш нашего варианта QAM по сравнению с вариантом QAM 64 в устройстве E2E4 KHUKRI STEALTH будет в скорости передачи информации в 6,3 раза. При этом проигрыш в мощности для режима QAM 64 даже в сравнении с режимом QPSK 3/4 (6,75 Мбит/сек) равняется 12 дБ (15,85 раз) и здесь ухудшение по потерям будет в 2,66 раз.

Понятно, что использование режима QAM не имело бы смысла с точки зрения роста энергетических потерь, если бы простым уменьшением длительности бита информации, при расширении полосы пропускания, можно было бы добиться желаемой скорости передачи информации по изображениям вплоть до 150 Мбит/сек. Однако тут есть ограничения, связанные с тем, что по теореме Котельникова, с учётом того, что длительность тактового импульса при цифровой дискретизации не равна нулю, как показано нами в [9], требуется не менее трёх тактов на символ. Отсюда, тактовая частота дискретизации должна быть не менее 450 МГц при приёме 150 Мбит/сек. Так как при росте частоты обработки сигнала по линейному закону энергетические потери возрастают в квадрате, то существует приемлемое ограничение длительности импульса символа и тактовой частоты дискретизации, которое обеспечивает выполнение задач не только по передаче изображения, но и по определению местоположения объекта и разрешающей способности при радиолокационном картографировании. В этом случае оптимальной величиной является тактовая частота дискретизации порядка 120-150 МГц с длительностью импульса порядка 25 нсек - 20 нсек. Именно из такого соотношения выбирались радиопараметры нашего микромодуля 1 по рисунку 1 и мобильного устройства по рисунку 2. Понятно, что исходя из характеристик, представленных на рисунке 12 радиомодуль в устройстве E2E4 KHUKRI STEALTH для БПЛА не имеет оптимизацию. Это и привело к тому, что потребовался вариант QAM64, который используется при больших энергетических потерях и даёт всего лишь 18 Мбит/сек против наших 114 Мбит/сек. Казалось бы, что добиться увеличения скорости передачи можно за счёт многочастотного режима, однако в этом случае вместо энергосберегающего нелинейного режима класса «В» в усилителях мощности с коэффициентом полезного действия (к.п.д) в 78% придётся использовать линейный режим класса «А» с к.п.д 48% [15]. То есть линейный режим в усилителях мощности даёт энергетические потери в усилителях мощности больше в 1,625 раз. Напомним, что режим QAM в нашем случае уступает варианту увеличению скорости передачи за счёт расширения полосы только в 1,33 раза по энергетическим потерям. Таким образом, в нашем

случае сужение полосы пропускания за счёт режима QAM увеличивает не только скорость передачи информации, но и сокращает энергетические потери в 2 раза по сравнению с устройством E2E4 KHUKRI STEALTH. Следовательно, использование микромодуля 1 по рисунку 1 по сравнению с устройством E2E4 KHUKRI STEALTH даёт выигрыш за счёт:

- 1) снижения несущей частоты и унификации используемых устройств;
- 2) использования простой QAM модуляции с увеличением скорости передачи при снижении потерь, и параметры сигнала имеют оптимизацию и обеспечивают многофункциональное применение;
- 3) повышения помехозащищённости благодаря невозможности использования узконаправленных антенн РЭБ при несущих частотах ниже 1 ГГц, а также из-за быстрой перестройки параметров сигнала;
- 4) исключения конструктивного недостатка расположения хвостового оперения БПЛА вниз, а не вверх, что позволяет обеспечивать посадку БПЛА. Это связано со сложностью обеспечения широкой направленности при несущих частотах в 3,4-3,6 ГГц, так как излучающие элементы имеют малые размеры, что снижает чувствительность, и требуется их большое количество, но это даёт узкую направленность от суммирования сигналов.

Таким образом, для получения оптимального варианта микромодуля 1 по рисунку 1 наряду с усилителем НМС374 можно использовать суммарный сигнал от 2-х усилителей TQP7M9103, при требовании повышенного качества изображения с передачей информации в 114 Мбит/сек или установить разработанный вариант усилителя в 2,5 Вт в диапазоне от 0,4 ГГц до 1 ГГц. Отметим, что известен усилитель мощности AP561 на 8 Вт в диапазоне от 0,7 ГГц до 2,7 ГГц, что позволяет компенсировать потерю чувствительности в 3,6 раза за счёт перехода на частоту в 0,76 ГГц от частоты в 0,4 ГГц за счёт мощности. При этом длина полуволнового вибратора сокращается в 1,9 раза с 50 см до 26,2 см. Также возможно использование стандартной антенны GSM ESC-GSM-05 SMA-M с размерами 115 мм×22 мм×4 мм для частоты 0,9 ГГц/1,8 ГГц с коэффициентом усиления 2,5 дБ, что обеспечивает аналогичную чувствительность на несущей частоте 0,897 ГГц.

Если используется скорость передачи информации в 38 Мбит/сек, то достаточно и одно-ваттного усилителя, и здесь используется внешняя подстройка по частоте Доплера без обработки внутри ПЛИС, так как промежуточная частота в 20 МГц меньше, чем скорость передачи информации. Отметим, что при промежуточной частоте в 20 МГц в режиме системы Гонец подключение антенны с необходимыми фильтрами для дуплексного режима и малошумящим усилителем к соответствующим входам-выходам осуществляется ключевой схемой через устройство общего управления.

Отметим ещё раз, что для БПЛА ближнего радиуса действия вариант перехода на частоты в 3,4-3,6 ГГц проигрывает варианту частот от 300 до 500 МГц по скорости передачи информации и потерям в мощности, и не обеспечивает многофункциональности. Для диапазона частот от 300 до 500 МГц легче обеспечить всенаправленную антенну с разным размещением её на БПЛА, а микромодуль 1 этого диапазона частот позволяет замещать функции, таких систем как «Гонец», приёмопередающего тракта бортовой радиолокационной системы картографирования «СКАТ-ЛИРА-Р», выполнять функции радиовысотомера. Более того, использование дополнительного переносчика частоты в область частот 1-4 ГГц, как это сделано в мобильном устройстве по рисунку 2 даёт возможность принимать сигналы GPS и ГЛОНАСС, а также замещать сам радиомодем для устройства E2E4 KHUKRI STEALTH. Программа в ПЛИС в микромодуле 1 обеспечивает быструю подстройку по частоте, что по времени не даёт средствам РТР определить наличие сигнала из-за перестройки по несущей частоте и смене кода и прерывистости сигнала. То есть, благодаря запросно-ответной системе, большой скорости передачи информации средства РТР не могут выделить регулярную составляющую, на основании чего и формируется помеха. Кроме того, диапазон частот от 300 до 400 МГц не позволяет создать направленную антенну с большим коэффициентом усиления для помех на БПЛА. Режим использования уплотнения сигнала за счёт режима QAM у нас обеспечивает выигрыш в 6 раз с уменьшением энергетических потерь в 2 раза. Отсюда следует вывод, что мобильное устройство с возможностью переноса частоты по рисунку 2 и с использованием микромодуля 1 по рисунку 1 является более

перспективным устройством, чем радиомодем на устройстве E2E4 KHUKRI STEALTH на 3,4-3,6 ГГц.

Понятно, что выпуск радиоэлектронных компонентов в диапазоне частот от 0,3-1 ГГц, а также изготовление ПЛИС в 130 нм не являются критичными параметрами для освоения нашей промышленностью, и здесь естественно надо разработать оптимальные величины с привлечением специалистов в этой области.

Соответственно теперь необходимо определиться с требованиями к БПЛА дальнего радиуса действия с наведением на цель и источник помех. Отметим, что наведение на цель БПЛА ближнего радиуса действия обычно осуществляется по изображению, для БПЛА дальнего действия такой вариант не всегда возможен при движении БПЛА на малых высотах. Понятно, что микромодуль 1 по рисунку 1 не в состоянии выполнить функции по наведению на радиоэлектронные средства противника (возможно только с использованием триангуляционных методов с помощью нескольких БПЛА), и как отмечено выше, он не может принимать сигналы от навигационной системы ГЛОНАСС в силу того, что это требует расширения диапазона принимаемых сигналов на основе мобильного устройства по рисунку 2. Собственно можно обойтись уже готовым навигатором GPS (ГЛОНАСС), однако данный навигатор не обладает помехоустойчивостью и его параметры в силу непрерывного излучения сигнала навигации от КА легко определяются средствами РТР и создаются эффективные помехи. Поэтому для улучшения помехозащищённости системы навигации было предложено в [8] использование низкоорбитальных спутниковых систем связи (НССС) с оптимизацией радиотехнических параметров в группировке 98 КА с многофункциональным использованием. Однако данный проект не получил поддержки и не было обеспечено финансирование даже пилот-проекта. Отсюда, на данном ближайшем этапе выбора требований, использование микромодулей для переноса частоты, помимо режима помехозащищённости, канала радиуправления может рассматриваться в качестве устройств создания помех и наведения на источник излучения. При этом, как было показано выше, возможен вариант определения местоположения на основе использования реперных точек с дальностью до 400 км с высокой

помехоустойчивостью. При использовании промежуточных БПЛА в полёте, дальность управления, с определением местоположения, может быть значительно увеличена. Соответственно теперь надо определиться с функциональными схемами для модулей переноса частоты от одного до десятков ГГц с учётом конструкций антенных блоков осуществляющих обеспечение режима наведения. То есть, разделение функциональных схем преобразователей частоты при оптимизации связано с

использованием режима наведения в широком диапазоне частот. Рассмотрим вначале микро-модуль переноса частоты от 1 ГГц до 2,7 ГГц, так как в этом диапазоне находятся несущие частоты как для GPS (ГЛОНАСС), так и частоты для таких систем как Iridium, Globalstar и других средств связи типа GSM. Следует отметить, что для приёма сигналов GSM до 1 ГГц может использоваться антенна Тракт X800 с параметрами по рисунку 16.

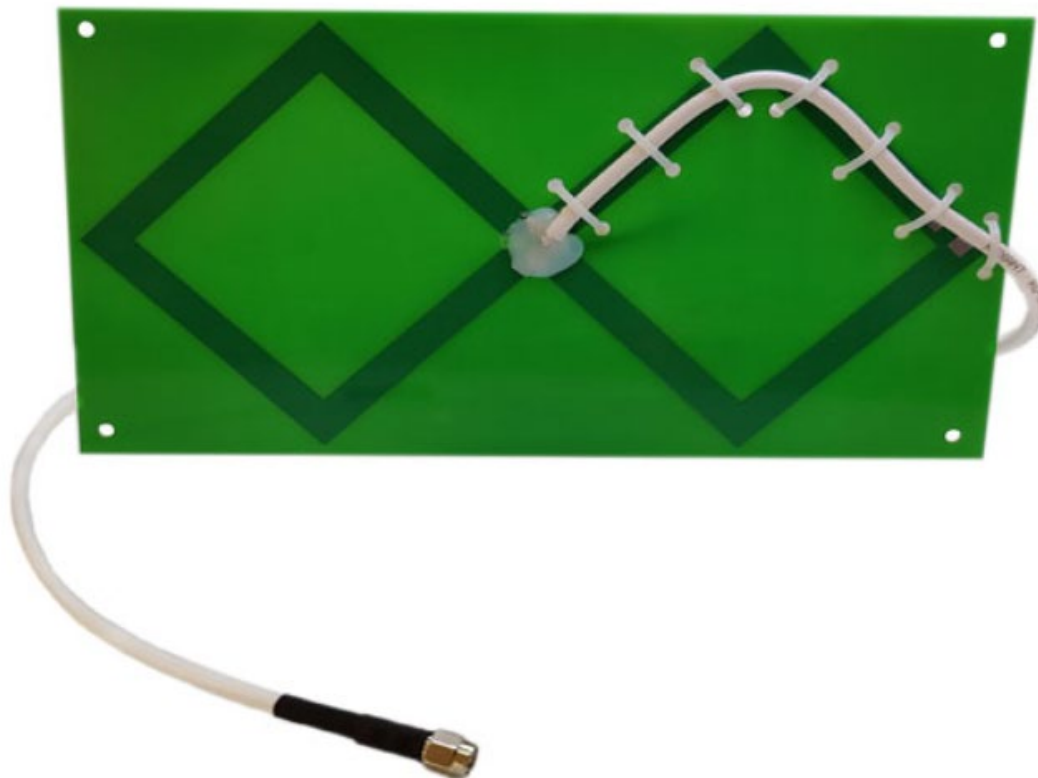


Рис. 16. Вид антенны Тракт X800

Ниже в таблице 4 приведены параметры такой антенны, которая может также использоваться и для работы радиовысотомера при использовании нашего устройства с ЛЧМ

сигналом в полосе до 150 МГц. Практически это означает, что при частоте выше 1 ГГц можно использовать патч антенны.

Таблица 4

Параметры антенны Тракт X800

| Антенна Тракт X800 | |
|---|--------------------|
| Наименование параметра | Значение параметра |
| Диапазон рабочих частот, МГц | 800-950 |
| Напряжение питания, В | Не требуется |
| Коэффициент усиления, дБ | 8 |
| Выходное сопротивление, Ом | 50 |
| Длина кабеля, м | 5 |
| Соединитель | SMA (M) |
| Габаритные размеры, длина x ширина, мм | 246x132 |
| Вес, г | 26 |
| Рабочая температура окружающего воздуха, °С | -40 +70 |

В [1] мы показали, что перенос частоты в область несущих частот ГЛОНАСС (GPS) обеспечивает возможность радиоуправления в полосе $F_{\text{прми}} = 2,5$ МГц на дальности в 400 км на частоте $f_u = 1,57542$ ГГц (длина волны $\lambda_u = 0,19$ м) при мощности передатчика $P_{\text{прди}} = 3,2$ Вт. При этом приёмная антенна БПЛА имеет коэффициент усиления антенны $G_{\text{прми}} = G_{\text{аб}} = 1,995$ (3 дБ при размерах патч $\lambda_u/2 \cong 0,095$ м). Соответственно антенна терминала управления состоит из 4-х патч с коэффициентом усиления 14,5 дБ аналогично антенне [7]. Отличие лишь в том, что мы для обеспечения наведения на источник излучения в данном диапазоне частот будем использовать отдельное подсоединение каждого патч к приёмно-передатчику с целью управления лучом АФАР. Понятно, что увеличение мощности передатчика как в БПЛА, так и в терминале управления с 3,2 Вт до 8 Вт позволит расширить полосу до 6,25 МГц, что обеспечит на такой дальности в 400 км приём даже телевизионных изображений от БПЛА. Однако если использовать антенну из 4-х патч также и на БПЛА с коэффициентом усиления в 14,5 дБ, то тогда мы можем расширить полосу принимаемых сигналов до 56,8 МГц. А это позволит уже передавать изображение в цифровом виде с высоким разрешением. При этом на дальности в 400 км от БПЛА появляется возможность использовать ещё один или несколько БПЛА или ЛА в качестве реперных точек по методу,

предложенному выше по запросно-ответной системе с вычислением дальности. В этом случае точность местоположения координат этих БПЛА, которые используются в качестве реперных точек, может достигать до 0,1 м, так как они могут привязываться к реперной точке наземного базирования, координаты которой известны с точностью даже менее 0,1 метра. Управление лучом АФАР состоящих из 4-х патч обеспечит угол сканирования в ± 60 градусов, что позволит, меняя положение и направление полёта БПЛА с увеличением точек замера, достичь точность определения местоположения ведомого БПЛА до 0,1 метра с учётом режима накопления по амплитуде за счёт сплайнов. Соответственно, так как используется запросно-ответная система, то может быть использовано изменение кода, а также изменение частоты во времени, что также повышает помехозащищённость и обеспечивает скрытность сигналов как от БПЛА, так и на БПЛА. Понятно, что конструкция АФАР из 4-х патч позволяет при сканировании лучом наводиться на источник сигнала РЭС противника в данном диапазоне частот. Рассмотрим общий функциональный вид микро модуля преобразователя частоты с нескольких ГГц в область ниже 1 ГГц, с учётом использования определения направления на источник излучения за счёт углового сканирования через управление фазами, поступающими на патч на рисунке 17.

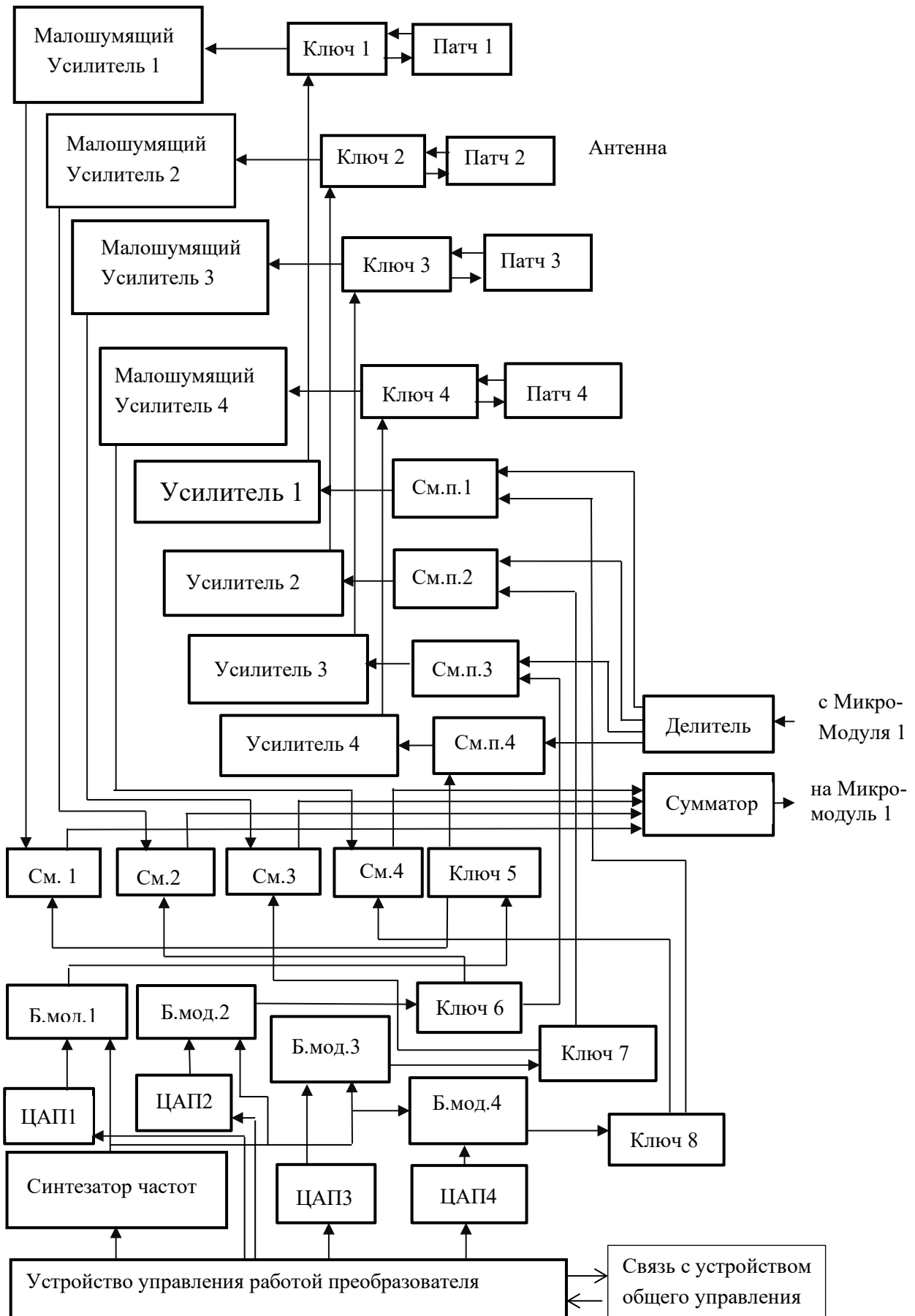


Рис. 17. Микромодуль преобразователя частоты

В данной функциональной схеме микро модуля преобразования частоты не указано управление ключами от устройства управления работой преобразователя. При этом аналоговые балансные модуляторы (Б.мод) могут быть заменены фазовращателями в зависимости от того какие характеристики лучше в данном диапазоне частот. При приёме сигналы с патч 1-4 через ключи 1-4 поступают через малошумящие усилители 1-4 и далее на смесители (см.1-4). На вторые входы приёмных смесителей через ключи 5-8 поступает гетеродинный сигнал с учётом соответствующих сдвигов по фазе для углового сканирования. Для сдвига по фазе гетеродинного сигнала от синтезатора частоты используется аналоговый балансный модулятор, который управляется через цифро-аналоговые преобразователи (ЦАП1-4) за счёт значений от устройства управления работой преобразователя. Аналогично работает

передающий канал с использованием усилителей мощности за счёт переключения режима приёма на передачу через соответствующие ключи. При этом передаваемый сигнал со смесителей вверх (См.п.1-4) поступает через делитель от микро модуля 1. Соответственно принимаемый сигнал также со смесителей вниз (См.1-4) поступает через сумматор на микро модуль 1. В качестве делителя и сумматора на 4 в диапазоне от 1 до 400 МГц, а именно в эту полосу будет происходить преобразование, можно использовать Splitter/Combiner SCP-4-1.

Использование патч должно подразумевать применение как вертикальной, горизонтальной, так и круговой поляризации. Это осуществляется за счёт конструкции патч с соответствующим подключением. Например, на рисунке 18 показана конструкция патч с линейной поляризацией.

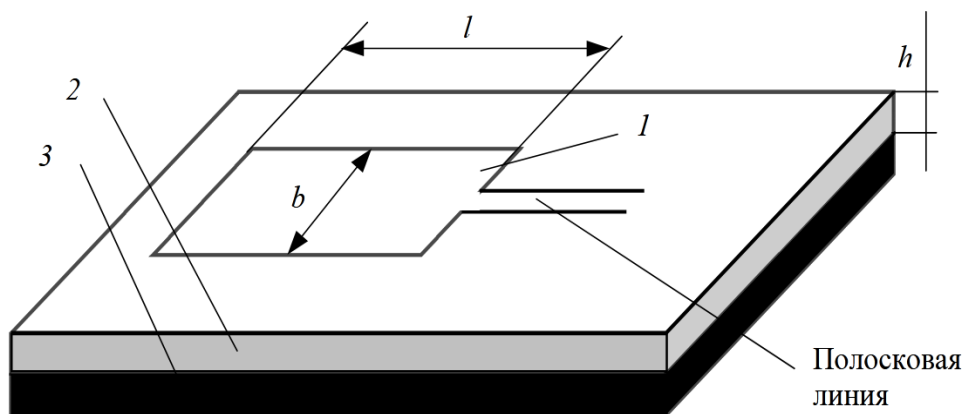


Рис. 18. Патч с линейной поляризацией

Здесь введены следующие обозначения: 1 – ленточный проводник; 2 – диэлектрический слой высотой h ; 3 – проводящая подложка; $l=b=\lambda/2$ – половина излучаемой длины волны в диэлектрике.

Для получения поля вращающейся поляризации необходимо обеспечить две пары излучающих щелей, расположенных перпендикулярно друг к другу и возбуждаемых со сдвигом 90° . С этой целью выбирают квадратичный излучатель, возбуждаемый в двух точках в середине соседних перпендикулярных друг к другу сторон ленточного проводника. В этом случае у нас возникает требование по использованию для АФАР двух функциональных схем по рисунку 17 для возбуждения в двух точках в середине соседних сторон ленточного проводника. Соответственно здесь возможно использование общего синтезатора частот с общим устройством управления работой

преобразователя, а также общими делителями и сумматорами, либо можно использовать две отдельные функциональные схемы по рисунку 17, а для когерентности надо предусмотреть схему ФАПЧ для подстройки синтезаторов частот. Схема ФАПЧ для синтезаторов частот может быть полезна и для модульной конструкции формирования АФАР с большим коэффициентом усиления. При этом схема ФАПЧ здесь может быть упрощена за счёт одного фазового детектора (ФД) и простого АЦП (AD4002 с мощностью потребления 70 мкВт) или типа LTC2256-14 (при полосе в 25 Мбит/сек при 14 битах разрешения по амплитуде, питании 1,8 В и потребляемой мощности 35 мВт), сигналы с которого будут поступать на устройство управления работой преобразователя, либо на устройство управления микро модуля 1. В этом случае сигналы на ФД поступают с двух функциональных схем преобразователей частоты от

двух балансных модуляторов этих схем, и проводится изменение фазы на одном из двух балансных модуляторов до достижения нуля на выходе ФД. При этом синтезаторы частот имеют когерентность за счёт подачи сигнала от одного общего кварцевого генератора (например, ГК365-С с диапазоном частот от 1 МГц до 125 МГц) на все функциональные схемы через устройства управления. Такой метод позволяет осуществлять быстро перестройку частоты синтезаторов с соблюдением когерентной обработки. Понятно, что преобразователи частоты могут использоваться в очень широком диапазоне частот от 1 ГГц до десятков ГГц. Для частот порядка десятков ГГц вместо патч могут использоваться щелевые излучатели и вместо планарного размещения элементов (плата параллельна полотну АФАР) возможно слотовое подключение модулей (плата перпендикулярна полотну АФАР). Ясно, что теперь нам надо определиться с возможной элементной базой для реализации указанного модуля преобразования частоты на начальном этапе до создания оптимальных радиокомпонентов (некоторые типы элементов мы уже указали выше). Из известной иностранной базы элементов для синтезатора частоты для микрополосковых АФАР подходит ADF4350, который формирует частоты от 137,5 МГц до 4400 МГц. В качестве балансного модулятора можно использовать на этапе эксперимента AD8349 с полосой рабочих частот от 700 МГц до 2,7 ГГц, что обеспечит преобразование входных сигналов в полосу 0,5 ГГц на микромодуль 1 при входной частоте принимаемого сигнала до 3,2 ГГц. Класс понижающих смесителей (См.1-4) на рисунке 17 достаточно широк, однако в нашем случае при сбросе сигнала в полосу 0,5 ГГц перспективным является вариант смесителя типа LT5557 с преобразованием входного сигнала от 0,4 – 3,8 ГГц. Повышающие смесители (См.п.) по рисунку 17 можно выполнить на смесителе LT5579, который обеспечит перенос частоты из области 0,4 ГГц в область выходной частоты от 0,4 до 3,1 ГГц. В качестве МШУ при эксперименте можно использовать усилитель MGF4921AM с малым коэффициентом шума 0,35 дБ, но он работает в узком диапазоне частот от 2 ГГц до 4 ГГц и усилением в 13 дБ. Поэтому больше подходит МШУ HMC753 в полосе от 1 ГГц до 11 ГГц с усилением в 16,5 дБ (от 1 до 6 ГГц) при шуме в 1,5 дБ. В качестве усилителя мощности в модуле преобразования частоты по рисунку 17 можно использовать МААМ-

009286 с мощностью до 500 мВт в полосе от 0,4 – 4 ГГц, с питанием в 5 В и током в 155 мА. В этом случае, при четырёх патч АФАР с условием питания каждого патч от двух усилителей мощности для получения круговой поляризации, мы будем иметь общую мощность АФАР в 4 Вт. Однако для удовлетворения требованию связи для передачи изображения в цифровом виде в полосе до 56,8 МГц на дальности в 400 км на частоте $f_u = 1,57542$ ГГц нам требуется общая мощность от АФАР в 8 Вт. С целью достижения необходимого общего энергопотенциала при 4 Вт от излучающего АФАР необходимо использование в приёмном терминале АФАР в барражирующем БПЛА связи 8 патч. То есть, как бы две приёмные антенны из 4-х патч объединённые вместе для приёма изображения. Ещё раз отметим, что известен усилитель мощности TQP7M9103 мощностью 1 Вт от 0,4-4 ГГц с питанием в 5 В и током потребления 235 мА и усилением 16 дБ. В этом случае не требуется использовать в приёмном терминале командного пункта АФАР на 8 патч, достаточно 4-х патч. В качестве делителя сигнала от синтезатора частоты гетеродинного сигнала можно применить известный телевизионный делитель EKT-2504A с полосой от 5-2500 МГц, или его аналог Power Splitter/Combiner WP4R1+ с полосой от 2-3 ГГц, которую желательно расширить до 1-4 ГГц. Устройство управления работой преобразователя частоты может быть выполнено на ПЛИС AZP250, и здесь не требуется высокая тактовая частота. Ключи могут быть выполнены на микросхеме SKY13290 до 2,5 ГГц или на микросхеме HMC284MS8G до 3,5 ГГц. При этом устройство управления подаёт сигналы на ЦАП AD1853 с быстродействием 192 кбит/сек с разрядностью 24 бит. Отметим, что данная конфигурация подразумевает непосредственное подключение антенны к модулю преобразования частоты по рисунку 17, а от него на микромодуль 1 по рисунку 1.

Соответственно, чтобы обеспечить многофункциональность на БПЛА дальнего действия необходимо предусмотреть такое расположение АФАР, чтобы обеспечить функции наведения, постановки помех, определения местоположения и высоты полёта БПЛА, передачи изображения и другой полезной информации. Например, как уже отмечалось выше, диапазон в районе десятков ГГц может использоваться в БПЛА для наведения по сигналам от терминалов Starlink и OneWeb, а также для постановки помех этим системам и КА

дистанционного зондирования земли TerraSar-x. Сама функциональная схема модуля приемо-передатчика АФАР X – диапазона (TerraSar-X)

без преобразования частоты представлена на рисунке 19.

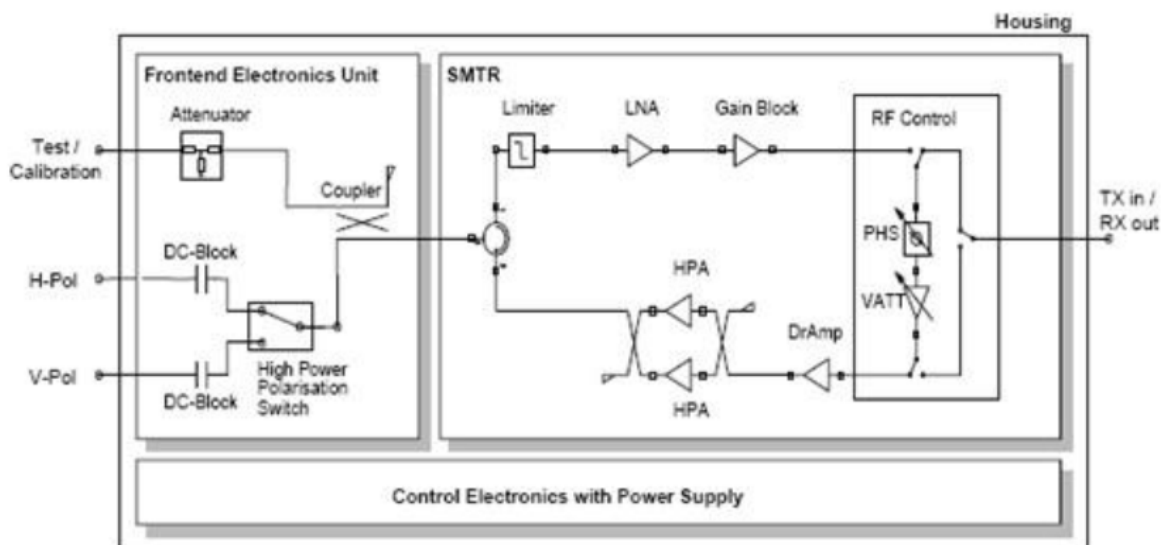


Рис. 19. Приемо-передающий модуль АФАР X-диапазона

Здесь средняя частота 9,6 ГГц, рабочая полоса 150 МГц. Щелевая антенна имеет как вертикальную (V-Pol), так и горизонтальную поляризацию (H-Pol), которые переключаются через ключ (High Power Polarisation Switch). Для калибровки предусмотрен направленный ответвитель (Coupler) с аттенуатором (Attenuator). Далее используется циркулятор СВЧ который разделяет каналы приёма и передачи. В канале приёма стоит ограничитель (Limiter), далее маломощный усилитель (LNA) с шум-фактором 4,8 дБ, после МШУ стоит блок усиления (Gain block), что даёт усиление приёмного тракта на 15-30 дБ. Через ключ принимаемый сигнал поступает на фазовращатель (PHS) и далее на регулируемый усилитель

(VATT). После регулируемого усилителя через ключ принимаемый сигнал поступает на выход. Сигнал на передачу поступает на модуль также как принимаемый сигнал, через ключ на фазовращатель. Далее, передаваемый сигнал через регулируемый усилитель и ключ поступает через предусилитель на два усилителя мощности (HPA) перед которыми происходит деление сигнала на два, а после усилителей мощности их суммирование до 8 Вт. После чего передаваемый сигнал поступает на циркулятор СВЧ. Отдельно в модуле предусматривается электронное управление с питанием (Control Electronics with Power Supply). Вид конкретного модуля показан на рисунке 20.



Рис. 20. Вид конкретного модуля СВЧ АФАР X-диапазона

Понятно, что недостатком представленной функциональной схемы является то, что используется циркулятор СВЧ, который сужает полосу пропускания. Применение фазовращателя непосредственно в цепи приёма-передающего тракта может быть оправдано для многоэлементной АФАР с коэффициентом усиления под 40 дБ, но для АФАР БПЛА требуется коэффициент усиления не более 20 дБ, и мощность выходного усилителя на один щелевой излучатель также может быть снижена до уровня 1 Вт. Кроме того, после приёма-передающего модуля необходима схема общего сумматора и разветвителя, что при частоте в 9,6 ГГц даёт большие потери, если будет выполняться в

микрополосковом варианте. В этом случае предпочтителен вариант модуля с преобразованием частоты по рисунку 17, где используется ключ 1 для переключения приёма-передачи вместо циркулятора и происходит преобразование частоты в область порядка 400 МГц, что снижает потери для сумматора и разветвителя в микрополосковом варианте для приёмного и передающего каналов. При этом фазовращатель (Фазовр.) используется в канале сигнала гетеродинной частоты, который поступает через ключ 2 на смеситель передатчика (См.п) или смеситель приёмника (См.) по рисунку 21.

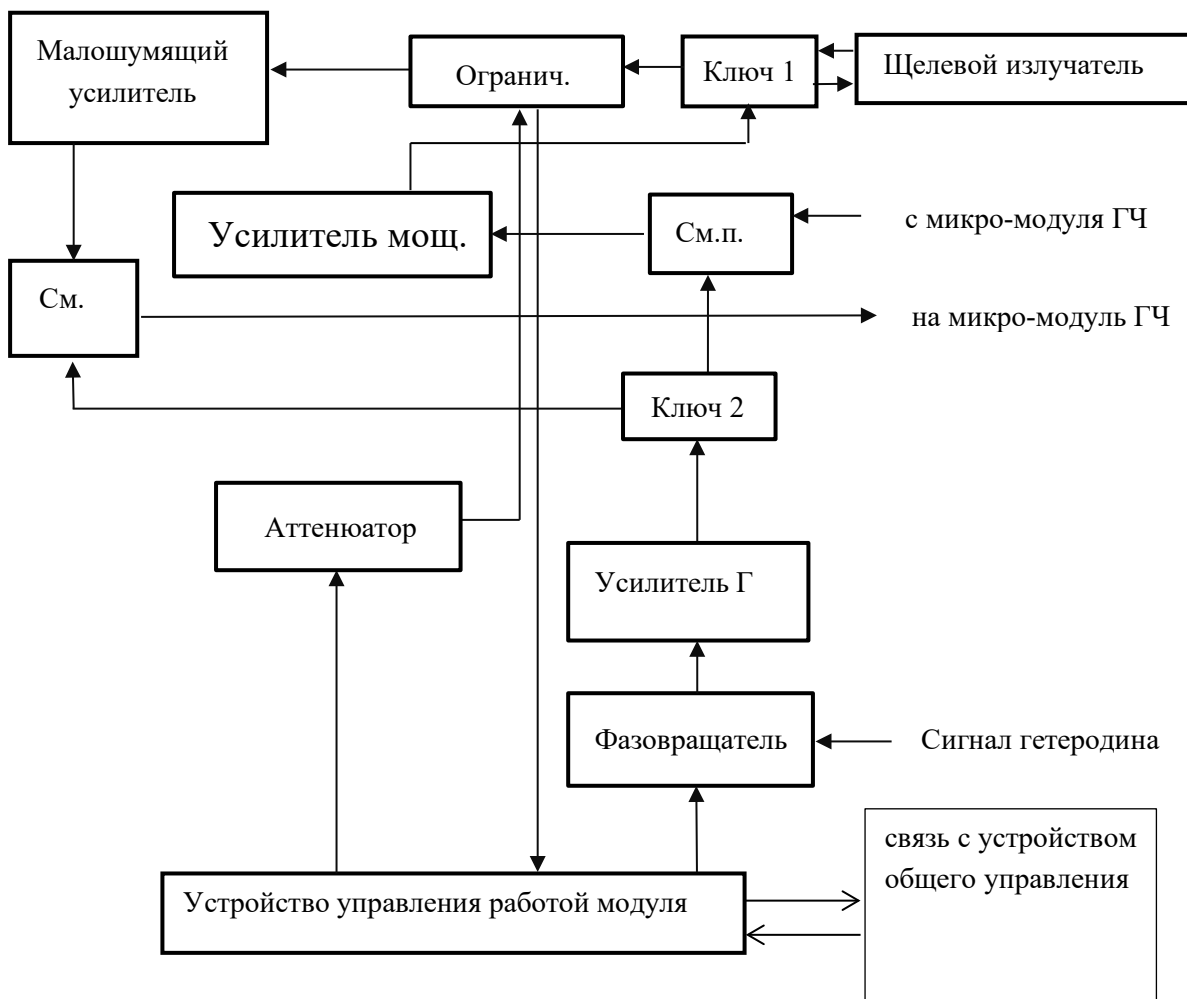


Рис. 21. Модуль преобразователя частоты X-диапазона с одного щелевого излучателя

Понятно, что в данном случае есть ещё один общий модуль деления сигнала гетеродинной частоты между модулями щелевых излучателей с формированием самого гетеродинного сигнала на основе синтезатора частоты, и в

этом же модуле обеспечивается суммирование принимаемых сигналов от щелевых излучателей с усилением и деление передаваемого сигнала. Вариант модуля формирования гетеродинного сигнала показан на рисунке 22.

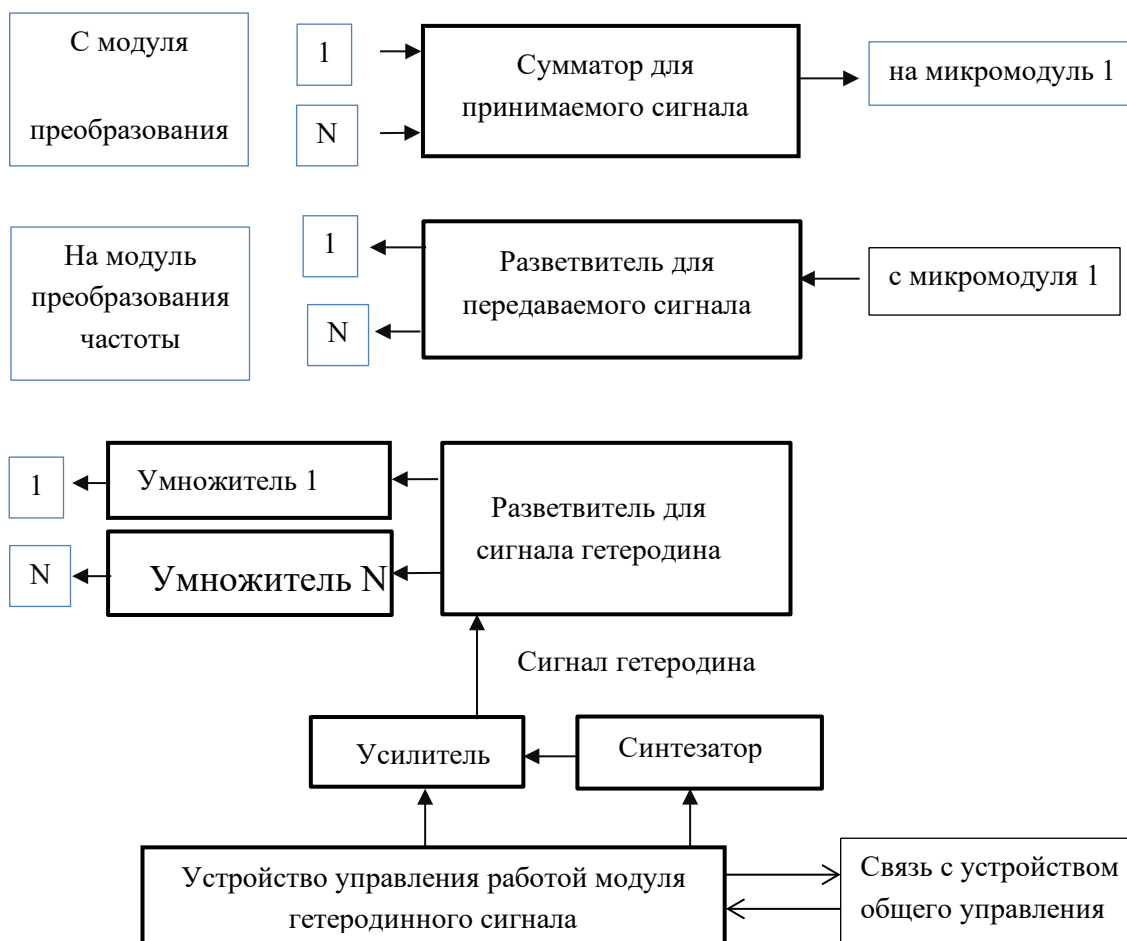


Рис. 22. Модуль образования гетеродинного сигнала

Иными словами, АФАР X-диапазона состоит из 3-х модулей вместо 2-х модулей для АФАР на патч излучателях. Конечно, для гетеродинного сигнала при разветвлении на модули с щелевыми излучателями также есть потери при микрополосковом варианте разветвителя, но их можно значительно снизить используя умножители частоты на каждом СВЧ выходе на модули щелевых излучателей с платы модуля гетеродинного сигнала (можно разместить умножители и на плате по рисунку 21). То есть, здесь возможен вариант компромиссного решения между потерями за счёт затухания в микрополосках и потерями от использования умножителей частоты. Чтобы обеспечить вариант любой поляризации излучаемого сигнала необходимо расположить элементы по функциональной схеме рисунка 21 с обеих сторон платы, с одной стороны для канала щелей с вертикальной поляризацией, а с другой стороны для канала горизонтальной поляризации. При этом плата модуля гетеродина по рисунку 22 с разветвителями и сумматорами будет иметь планарное расположение к полотну

АФАР и крепится к платам модулей щелевых излучателей по рисунку 21, имеющих слотовую конструкцию, к полотну АФАР (перпендикулярное расположение) через разъёмы защёлки ММРХ. Для обеспечения режима наведения по помеховому сигналу предусмотрен вариант использования ограничителя с аттенуатором (рисунок 21) с которого сигнал о превышении порога поступает на устройство управления работой модуля. После чего выбирается соответствующий уровень аттенуатора с отсутствием превышения порога ограничения, и далее БПЛА переходит в режим наведения по источнику помех.

Известная компонентная база в диапазоне десяти и более ГГц пока не имеет оптимизированных характеристик с точки зрения сочетания широкой полосы пропускания и получения наименьших потерь при максимальном коэффициенте усиления исходя из перехода от полосковой конструкции антенн к щелевым конструкциям антенн. Из широкополосных элементов можно выбрать аттенуатор НМС424 в диапазоне от 0 до 13 ГГц с разрядностью в 6 бит,

который даёт потери в 4 дБ и поэтому он подключается только в момент срабатывания ограничителя с диапазоном ослабления сигнала от 0,5 дБ до 31,5 дБ с точкой пересечения 3 порядка по входу 32 дБм и управляющим напряжением 0 В/ -5 В. В качестве переключателя на входе от антенны можно использовать НМС232 в диапазоне от 0-15 ГГц с потерями в 1,4 дБ и развязкой 50 дБ при скорости переключения 5 нсек при точке компрессии по 1 дБ в 26 дБм и управляющем напряжении 0 В/ -5 В. Из малошумящих усилителей можно выбрать НМС903 в частотном диапазоне 6-18 ГГц с коэффициентом усиления в 19 дБ при точке пересечения третьего порядка по выходу 27 дБм и коэффициенте шума 1,6 дБ. Предусилитель НМС3653LP3BE имеет диапазон от 7 до 15 ГГц с коэффициентом усиления в 15 дБ при коэффициенте шума 4 дБ и при точке пересечения первого порядка по выходу 15 дБм (25 мВт). В качестве усилителя мощности в диапазоне 6-18 ГГц можно использовать НМС441LC3В с усилением 17 дБ питанием в 5 В и мощностью в 100 мВт (20дБм). Для уменьшения потерь связанных с микрополосковым исполнением разветвителя для гетеродинного сигнала по рисунку 22 можно использовать умножитель частоты (MXS-24-01) на 2 или 4 при входных частотах на умножитель от 2-4 ГГц. При этом требуется входная мощность 4-6 дБм, с достижением подавления составляющих на 60 дБ и при выходной мощности в 10 дБм с полосой пропускания в 10 %. Однако фазовращатели для гетеродинного сигнала пока имеют достаточно узкий диапазон частот, и для диапазона в 9,6 ГГц подходит НМС642 (9-12,5 ГГц) с вносимыми потерями 6,5 дБ. При разрядности в 6 бит он обеспечивает диапазон перестройки фазы от 5,625° до 360°, при этом точка пересечения по входу третьего порядка 41 дБм при управляющем напряжении 0 В/ 5 В. В качестве смесителя вниз можно использовать двухбалансный смеситель М7-Пр-0610/3 ФГУП «НПП «Исток» с подавлением зеркального канала с диапазоном частот от 6-10 ГГц с сигналом гетеродина в 10-20 мВт от 6-10 ГГц и развязкой между принимаемым сигналом и сигналом гетеродина в 25 дБ, развязкой принимаемого сигнала и сигнала гетеродина с сигналом на промежуточной частоте в 30 дБ и с диапазоном промежуточных частот 0-1 ГГц. При этом потери преобразования порядка 7 дБ при КСВН порядка 2 дБ и

подавлением зеркального канала в 17 дБ. Существует также двухбалансный смеситель преобразования частоты вверх М7-Пр-0911/2 ФГУП «НПП «Исток» с диапазоном входных частот от 0 до 1 ГГц, диапазоном выходных частот от 9-11 ГГц с сигналом гетеродина в 10-20 мВт от 9-11 ГГц и развязкой между выходным сигналом и сигналом на входе в 30 дБ, развязкой выходного сигнала и сигнала гетеродина в 25 дБ. При этом потери преобразования порядка 7 дБ при КСВН порядка 2 дБ и подавлением зеркального канала в 17 дБ.

Как отмечалось выше для выполнения функций связи требуется общая мощность в 8 Вт. При использовании в полотне АФАР 64 излучателей (это фактически 8 излучателей по горизонтали и 8 излучателей по вертикали) мы получим 6,4 Вт для вертикальной поляризации (усилитель мощности НМС441LC3В в 100 мВт), если учесть излучатели для горизонтальной поляризации, то получим общую выходную мощность в 12,8 Вт. Это позволяет использовать данный диапазон, как для радиоуправления, так и для передачи изображения. Отметим, что выбираемая элементная база не является оптимальной и требует новых конструкторских разработок от специалистов радиоэлектронной промышленности.

Для постановки помех и для наведения на источник излучения щелевую антенну и модули преобразования для X - диапазона частот лучше располагать в передней части БПЛА дальнего действия. Однако и АФАР диапазона от 1-4 ГГц также может использоваться для наведения и постановки помех, поэтому необходимо предусмотреть съёмный вариант по размещению антенн разного диапазона в передней части БПЛА. Кроме того для АФАР разного диапазона необходимо предусмотреть выделение места и в задней полусфере для передачи полезной информации (например, сигналы радиоуправления) и изображений. Так как микромодуль 1 подсоединяется к модулю преобразования частоты (или модулю гетеродинного сигнала) на соединителях защёлках с планарным положением относительно полотна АФАР, то можно предусмотреть отдельный вывод от микромодуля 1 на широко направленную антенну обеспечивающую диапазон от 175 МГц до 1 ГГц. Применение дополнительно диапазона до 1 ГГц позволит управлять БПЛА в любом его положении относительно командного

пункта с повышением помехозащищённости. Использование АФАР одного диапазона в передней и задней полусферах позволяет исключить воздействие помех за счёт того, что, если есть попытка постановки помех каналам связи и управления, то БПЛА переходит в режим наведения на источник помех, а поставленную задачу выполняют следующие БПЛА. Одновременно АФАР в диапазоне от 1,5-1,7 ГГц может использоваться для приёма сигналов от ГЛОНАСС, что требует располагать такую

антенну в верхней части БПЛА, кроме того в диапазоне 3,1-3,2 ГГц АФАР можно использовать для работы в режиме радиовысотомера. Функционирование АФАР в диапазоне от 1 до 3,2 ГГц в целях экономии места для выполнения задач многофункциональности можно совместить за счёт использования механического управления антенной через электродвигатель. Пример принципа механического управления можно осуществлять по аналогии управления по рисунку 23.

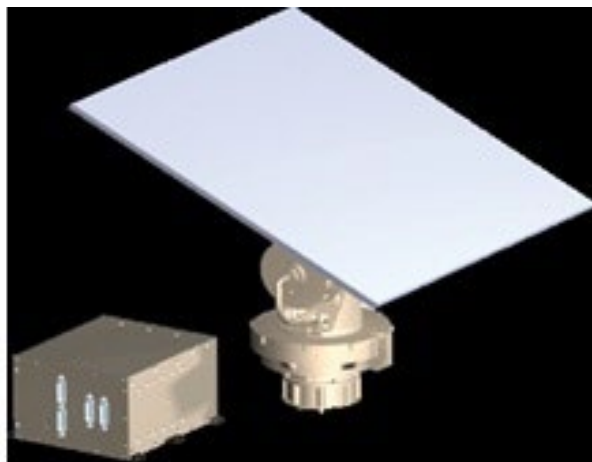


Рис. 23. Пример способа управления антенной

В этом случае можно использовать антенну, состоящую из двух патч с питанием не через разветвитель, а с подключением СВЧ сигнала непосредственно к двум патч. При этом наведение на источник помех можно осуществлять за счёт механического углового сканирования через электродвигатель. Отсюда схема преобразования частоты уменьшается до одного канала. Так как для выполнения задачи радиопередачи и приема изображения достаточно антенны и из двух патч, то можно использовать мобильное устройство по рисунку 2 при общих размерах антенны 14 см×7 см, с формированием круговой поляризации и диапазоном частот от 2,4 до 2,7 ГГц. Надо отметить, что использование одного патч только лишь снизит коэффициент усиления антенны при тех же размерах мобильного устройства, а также приведет к сокращению усилителей мощности, что снизит дальность радиосвязи. В мобильном устройстве по рисунку 2 формирование круговой поляризации осуществляется за счёт подбора длин шлейфов подсоединяемых к двум ортогональным серединам сторон патч. Собственно к шлейфам могут подсоединяться и полосковые фильтры. При увеличении АФАР

до 4-х патч возможно в этом диапазоне частот сформировать и электронное угловое сканирование на основе двух мобильных устройств по рисунку 2, с использованием общего синтезатора частоты и добавлением фазовращателей в цепь гетеродинного сигнала на входе двух балансных модуляторов формирующих передаваемый ФКМ сигнал. Каждый из фазовращателей имеет простую конструкцию, состоящую из индуктивности (L) и ёмкости (C) и при подключении этих радиоэлементов через трёхпозиционный ключ получаем 5 положений луча, например, по вертикали. Причём роль управления фазовращателями будет осуществляться ПЛИС типа АЗР250 вместо ПЛИС АЗРЕ3000L, который ранее использовался для обработки сигнала во втором мобильном устройстве. Для обеспечения такого же углового сканирования по горизонтали потребуется использовать ещё два ключа и два фазовращателя на канале приёма и передачи. Иными словами угловое сканирование обеспечивается на основе 6 трёхпозиционных ключей и 6 LC – фазовращателей через ПЛИС типа АЗР250. Таким образом, доработанный вариант мобильного устройства по рисунку 2 фактически обеспечивает необходимые

функции по радиоуправлению, передаче изображения, и угловому электронному сканированию для наведения на источник помех при наличии 4-х патч. При этом размеры антенны 14 см×14 см. Так как, в мобильном устройстве по рисунку 2 в качестве усилителей мощности используется одноваттный усилитель, то в общей сумме мы будем иметь выходную мощность в 8 Вт. Преимущество в полной функциональной законченности узла одновременно определяет и недостаток, связанный с тем, что для АФАР состоящей из гораздо большего количества патч не требуется формировать обработку сигнала, а также передачу сигнала в узле состоящем всего из двух или 4-х патч.

Понятно, что любая антенна должна располагаться под обтекателем, и здесь для сокращения площади антенны в вертикальной и горизонтальной плоскости при частотах порядка 1-2,3 ГГц желательно использовать диэлектрик между проводящей подложкой и элементом патч. Однако при этом растут потери, и снижается коэффициент усиления антенны. Чтобы это компенсировать, можно увеличить площадь антенны, в горизонтальной плоскости. Это более предпочтительно в силу того, что по горизонтали размеры БПЛА значительно больше, чем по вертикали, в силу размаха крыльев. В этом случае будет использоваться для радиоуправления и приёма изображения 8 патч вместо четырёх (2 модуля антенн по 4-е патч в горизонтали с преобразователем частоты). Переход на большее количество патч по горизонтали, а возможно и по вертикали, потребуется и для вариантов АФАР на частоте от 2,7 ГГц и выше. Действительно, для АФАР состоящей из 4-х патч с полосой пропускания частоты в 2,35-2,55 ГГц [7], при размерах с воздушным заполнением 16,5 см×16,5 см размещение радиоэлементов на плате с её планарным расположением относительно полотна АФАР не

представляет сложностей и по функциональной схеме рисунка 17. Для частот АФАР порядка 1-2,35 ГГц требуется даже сокращать размеры патч за счёт использования диэлектрических заполнителей, но для частоты АФАР уже порядка 2,7 ГГц - 3,2 ГГц требуется использование технических решений позволяющих уменьшить занимаемую площадь радиоэлементами при планарном размещении без уменьшения размеров патч с воздушным заполнением. В этом случае, чтобы обеспечить выполнение функций управления лучом АФАР для наведения на цель по источнику излучения, необходимо идти на упрощение с исключением энергопотребляющих элементов за счёт замены их пассивными элементами, то есть лучше, например, по вертикали формировать 5 положений луча АФАР за счёт использования фазовращателей простой конструкции в виде радиоэлементов индуктивности (L) и ёмкости (C), подключение которых осуществляется через ключи. Одновременно предусматривается и механическое изменение положения АФАР по вертикали как это показано на рисунке 23 в силу того, что может потребоваться и выполнение функции радиовысотомера, а в будущем и связь с КА НССС. По горизонтали в этом случае используется формирование луча за счёт расположения 8-ми патч, с применением одного балансного модулятора на 4 патч, с увеличением площади антенны в этом направлении в 2 раза. Соответственно угловое сканирование по горизонтали будет обеспечиваться изменением фазы за счёт 2-х балансных модуляторов, но с большей точностью из-за увеличения коэффициента усиления в этой плоскости. На рисунке 24 показана топология размещения радиоэлементов модуля преобразователя частоты для 4-х патч такой конструкции при частоте 2,7 ГГц с одной поляризацией сигнала по горизонтали.

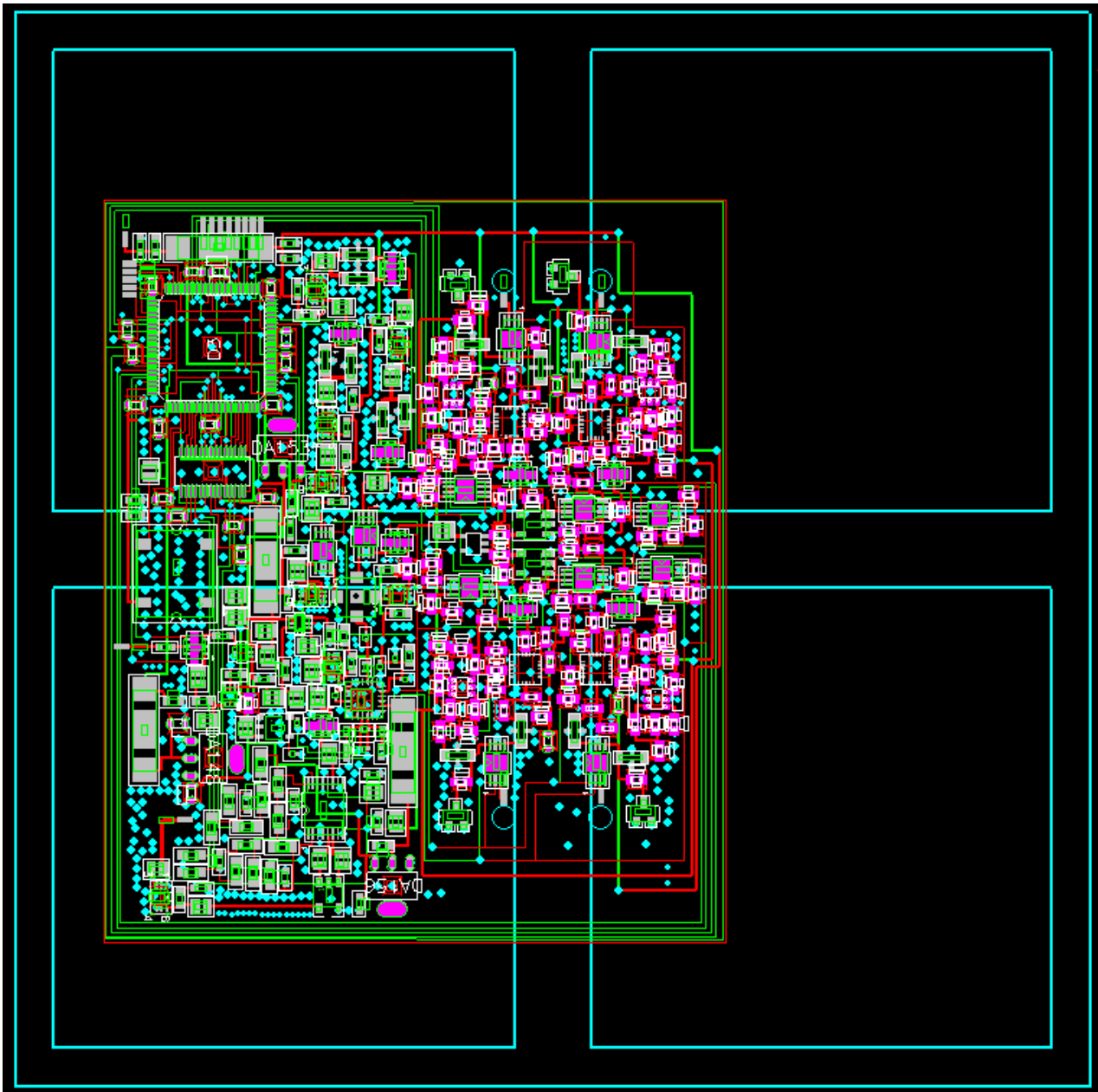


Рис. 24. Топология размещения радиоэлементов для АФАР диапазона 2,7 ГГц

Здесь сами четыре патч представлены очерченными квадратиками голубого цвета, а место их СВЧ соединения с платой преобразователя частоты с формированием излучения в горизонтальной плоскости очерчено окружностями

также голубого цвета. При этом питание патч по горизонтали осуществляется сигналами в противофазе. Более детально сама топология показана на рисунке 25.

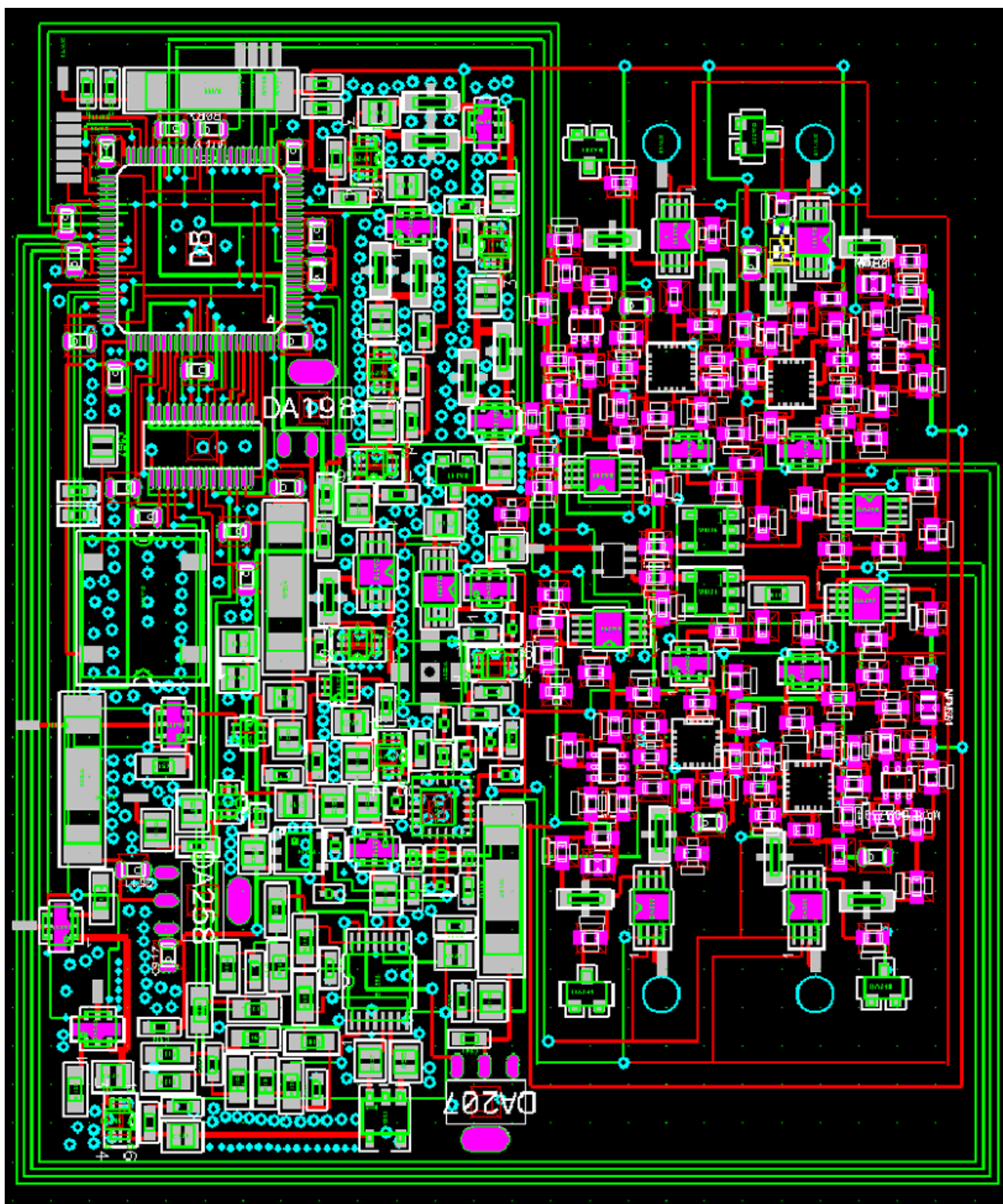


Рис. 25. Топология расположения радиоэлементов при частоте АФАР на 2,7 ГГц

Кроме того, для формирования излучения в вертикальной плоскости, с возможностью получения круговой поляризации, необходимо разместить, с обратной стороны многослойной платы преобразователя частоты, радиоэлементы по аналогичной схеме, но поменяв места питания патч СВЧ сигналами в местах перпендикулярных к тем, что использовались для формирования горизонтальной поляризации.

Однако возможен вариант формирования круговой поляризации за счёт использования соответствующей конфигурации и длин шлейфов, подсоединяемых к серединам двух перпендикулярных сторон патч, как это предложено в мобильном устройстве по рисунку 2. Выигрыш здесь в весе и энергопотреблении, но при этом ухудшаются условия для управления и формирования круговой поляризации в

зависимости от частоты. Так как у нас на частоте 2,7 ГГц используется АФАР состоящая из 2-х АФАР по 4 патч (8 патч по горизонтали), то нам требуется ещё одна плата между микромодулем 1 и платами преобразования частоты, которая будет выполнять функции суммирования принимаемого сигнала на микромодуль 1 и разветвления передаваемого сигнала от микромодуля 1. Одновременно в этой плате будет формироваться сигнал гетеродина на платы преобразования по частоте входного и передаваемого сигнала. Надо отметить, что топология размещения радиоэлементов по рисунку 23 позволяет сократить размеры патч при воздушном заполнении ещё в 1,5 раза, что даст возможный диапазон использования патч в АФАР с планарным расположением вплоть до 4 ГГц. Это вполне приемлемый вариант, если учесть, что некоторые радиоэлементы мы можем разместить на второй плате обеспечивающей формирование гетеродинного сигнала аналогично варианту с щелевой антенной. Для оптимизации работы сами АФАР разного диапазона частот на основе патч должны быть отдельными заменяемыми элементами, которые подсоединяются к плате преобразования частоты миниатюрными сверхширокополосными соединителями типа ММРХ с механизмом соединения с защёлкой. Естественно, что в этом случае необходимо обеспечить подвод полосковых шлейфов необходимой длины за счёт соответствующей конфигурации в строго фиксированные места. Сами полосковые

шлейфы, которые подсоединяются к патч, можно расположить с обратной стороны проводящей подложки антенны через слой диэлектрика к соответствующим местам соединений СВЧ на плате преобразователя частоты. Здесь к шлейфам можно подсоединить и полосковые фильтры. Изменение фаз за счёт разницы длины шлейфов в зависимости от диапазона несущих частот можно учесть за счёт изменения фазы в балансном модуляторе или фазовращателе. Собственно такая конструкция позволяет развязать место расположения вывода приёма-передачи СВЧ сигнала от местоположения питаемых патч. Это позволяет уплотнить расположение радиоэлементов на плате, подсоединяемой к антенне, а также увеличить количество патч в АФАР.

Понятно, что коэффициент усиления антенны, с улучшением помехозащищённости, можно увеличить за счёт использования не 4-х патч в АФАР, а за счёт использования 16 патч в АФАР при несущих частотах выше 2,7 ГГц, с уменьшением при этом мощности выходных усилителей, как показано на рисунке 26. При этом, так как используется всего один канал на промежуточной частоте для всех патч сокращается количество радиоэлементов и энергопотребление. Соответственно возникает возможность расположения всех радиоэлементов на одной плате (рисунок 26), так как освобождается место и для модуля образования гетеродинного сигнала по рисунку 22 и для микромодуля 1 по рисунку 1.

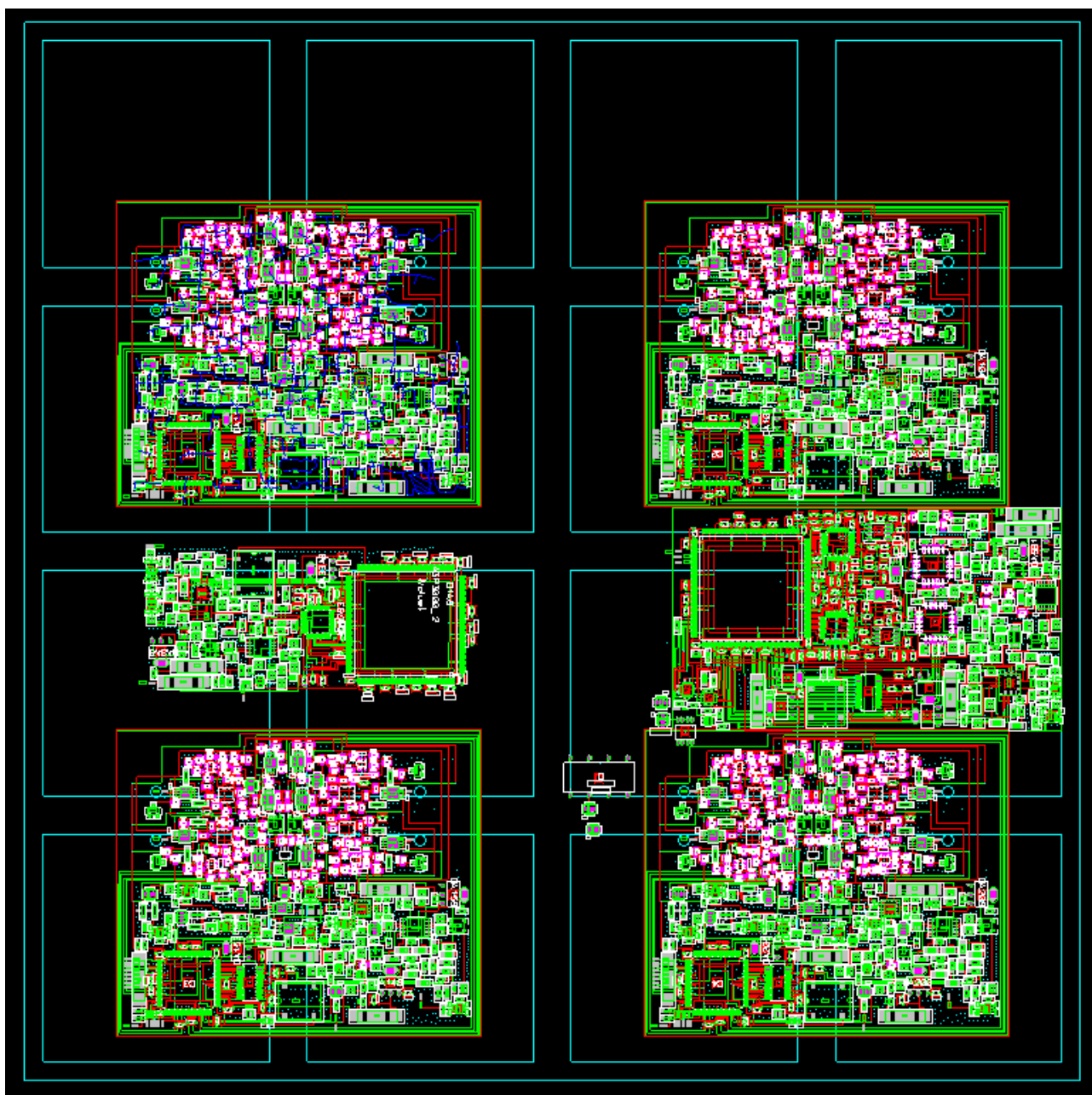


Рис. 26. Общая плата для АФАР состоящей из 16 патч (4 патч×4 патч)

Здесь по центру по горизонтали слева располагается плата формирующая передаваемый сигнал, а справа плата обработки входного сигнала (по сути микромодуль 1). По краям располагаются платы преобразования частоты. Одновременно, на этой плате можно разместить и

микросхему по управлению всем БПЛА. Для этого, в случае необходимости при использовании шлейфов от патч, можно передвинуть модули преобразования частоты на края АФАР как показано на рисунке 27.

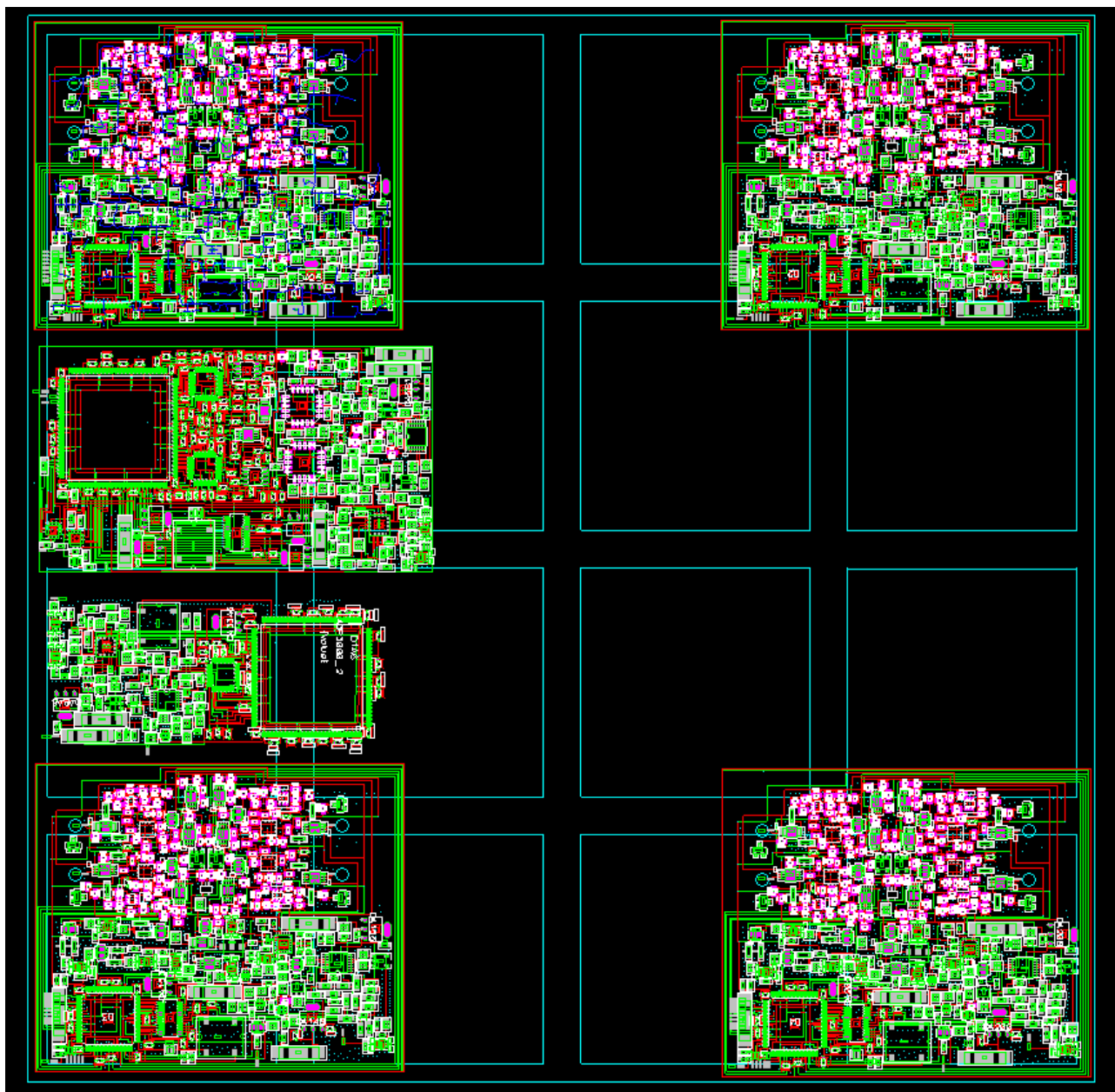


Рис. 27. Топология АФАР на 16 патч с передвинутыми модулями преобразования частоты на края АФАР

Таким образом, возможно использование для подключения к антенне всего одной печатной платы с расположением радиоэлементов на одной её стороне. При этом возможна конструкция АФАР из 8 патч с уменьшением количества радиоэлементов и размещением устройства управления, размеры которого не превышают 28 см×14 см. АФАР, состоящая из 16 патч, может иметь применение для обеспечения связи с БПЛА на расстояниях в 400 км как терминал командного пункта. Кроме того она может быть востребована в будущем для обеспечения связи со скоростью 150 Мбит/сек по аналогии со связью One Web и Starlink как

наземный терминал, для предполагаемой нашей группировки в 98 КА в системе низкоорбитальной спутниковой системы связи (НССС), которая придёт на замену системе Гонец и системе навигации ГЛОНАСС как вариант более помехозащищённой системы использующей режим запрос-ответ. В таких КА рассматривается возможность применения полотен АФАР уже на 256 элементов (16 патч×16 патч) в полосе несущих частот от 2,4 ГГц до 2,7 ГГц на основе рисунков 1 и 17 [8-10]. При этом на КА предусматривается раскладываемая конструкция из 15 полотен по рисунку 28.

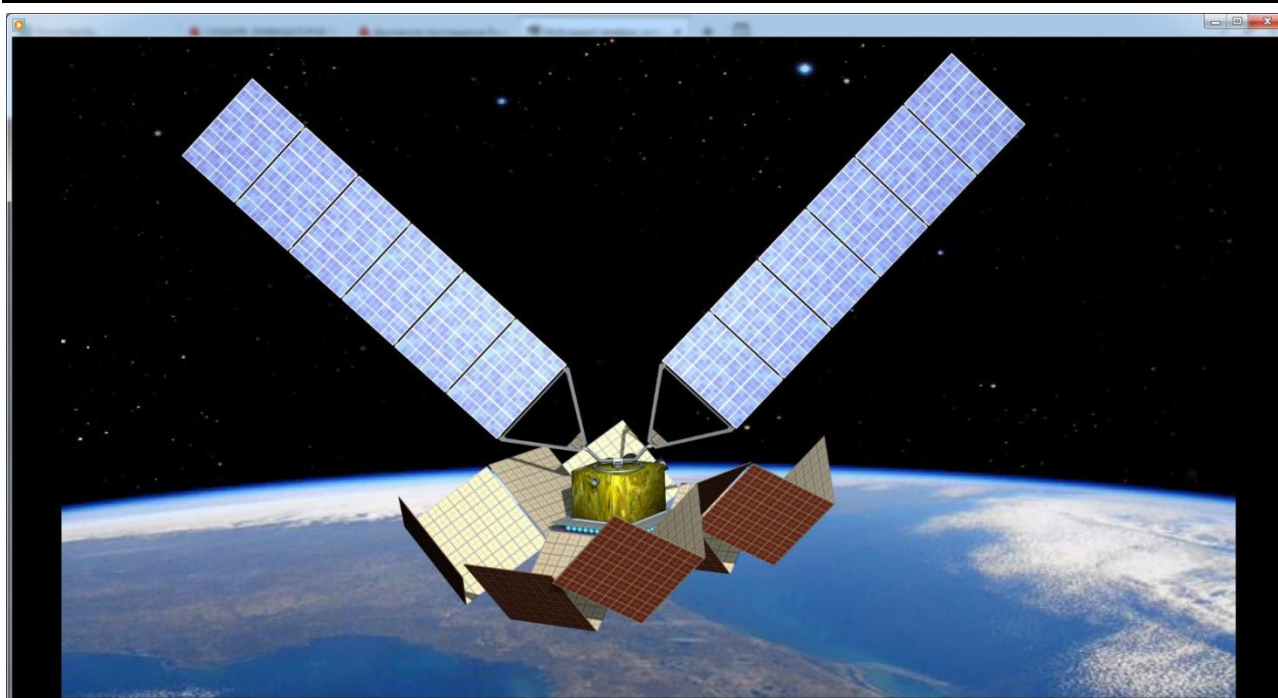


Рис. 28. Конструкция расположения полотен АФАР в космосе для КА НССС

Кроме того, отдельное полотно АФАР может разбиваться на 4 секторных антенны (8 патч × 8 патч = 64 патч). Это позволяет формировать 60 лучей вместо 48 лучей по 53 патч как в системе связи Iridium [2]. В этом случае на 64 патч используется всего один канал для обработки и передачи сигнала. С учётом многофункционального использования и размеров

радиоэлементов с размещением по топологии по рисункам 22-25 мы можем использовать только одну плату для полотна АФАР. При этом на полотне будут умещаться как микромодули 1, модуль формирования гетеродинной частоты, модули преобразования частоты и устройства управления, с учётом размещения показанного на рисунке 29.

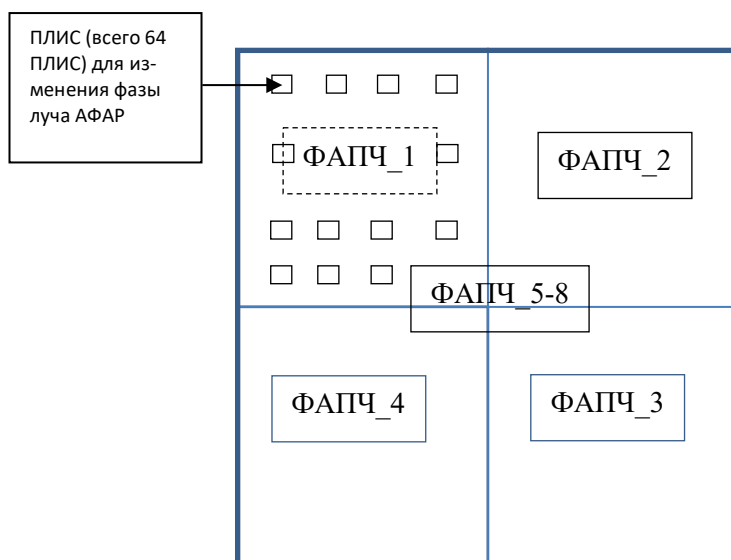


Рис. 29. Расположение 4-х секционных АФАР (подАФАР) с наличием фазовой автоподстройки частоты (ФАПЧ – микромодуль 1) и малоразмерных программно-логических интегральных схем (ПЛИС АЗР250 на 4 патч) для изменения положения луча при работе устройства по способу в режиме Iridium при 60 лучах одновременно с разбиением полотна антенны на 4 зоны по 64 элемента ПАТЧ (всего 256 активных элемента в полотне АФАР)

Радиоэлементы на плате можно размещать плотно благодаря тому, что фазовые набеги

исключаются за счёт использования шлейфов одинаковой длины с разной конфигурацией с

СВЧ выходов антенны. Возможна коррекция изменения положения луча за счёт значений фаз поступающих на балансные модуляторы при изменении несущей частоты. На плате, для размещения ФАПЧ и общего устройства управления, остаётся достаточно места даже при частоте порядка 4 ГГц. При этом не учитывается

возможность микроминиатюризации через создание больших интегральных микросхем. Надо отметить, что АФАР из патч позволит обеспечить наведение БПЛА на радиосигнал в диапазоне 2-4 ГГц, а это обеспечит уничтожение подвижной РЛС контрбатареинной борьбы AN/TPQ-53 (рисунок 30).



Рис. 30. РЛС контрбатареинной борьбы AN/TPQ-53 в диапазоне 2-4 ГГц

Для РЛС контрбатареинной борьбы AN/TPQ-36 работающей в X-диапазоне можно использовать щелевую антенную решётку на основе функциональной схемы по рисунку 20. Преимущество БПЛА в том, что они могут заходить на цель уничтожения с любого направления и РЛС контрбатареинной борьбы просто не увидят атакующий БПЛА.

Таким образом, при выработке требований к блоку радиуправления беспилотного летательного аппарата (БПЛА) с оптимизацией его функциональных схем в широком диапазоне частот, мы показали возможные реализации на известной радиоэлементной базе с установлением возможных размеров плат в пределах размеров требуемых антенных элементов излучения. При этом мы показали многофункциональность используемых модулей, а способ предложенной обработки сигнала в [9] обеспечивает высокую помехозащищённость. Полученные размеры плат размещения радиоэлементов по предлагаемым функциональным схемам не превосходят известные аналоги, например, размеры платы размещения радиоэлементов в устройстве E2E4 KNUKRI STEALTH для БПЛА ближнего радиуса действия. Учитывая возможность использования БПЛА разного радиуса действия в широком диапазоне частот, для унификации, с целью уменьшения экономических затрат, необходимо предусмотреть

несколько типов антенн, а также печатных плат радиомодемов разного диапазона частот по предложенным функциональным схемам, которые при заданных определённых местах нахождения СВЧ разъёмов – защёлок будут съёмными заменяемыми элементами в присоединении друг к другу. Именно дешевизна БПЛА, что обеспечивается унификацией радиоузлов, как для военных, так и для гражданских целей, приведут к массовому их использованию.

Литература

1. Рысин А.В., Бойкачёв В.Н., Наянов А.М., Островский Я.Б. Анализ вариантов блоков радиуправления для беспилотных летательных аппаратов (БПЛА). Научный международный журнал. «Актуальные исследования», №16(146), 2023, часть 1, С. 9-41.
2. <https://goo.su/r51UNxr> (Iridium).
3. <https://ru.wikipedia.org/wiki/Globalstar>.
4. <https://ru.wikipedia.org/wiki/Starlink>
5. <https://ru.wikipedia.org/wiki/OneWeb>
6. Тихонов В.И. Статистическая радиотехника. – М.: Советское радио. 1966, С.473.
7. Дубровка Ф.Ф., Мартынюк С.Е. Полосковая антенная решётка с воздушным заполнением. Вісник Національного технічного університету України «КПІ» Серія-Радіотеніка. Радіоапаратобудування. 2009, №38.

8. Рысин А.В., Бойкачёв В.Н., Наянов А.М. Использование низкоорбитальных спутниковых систем связи (НССС) для навигации с оптимизацией радиотехнических параметров». Научный журнал «Актуальные исследования, №9(139), март, 2023г., Технические науки, С. 21-58.

9. Рысин А.В., Бойкачёв В.Н., Наянов А.М. Способ быстрой фазовой автоподстройки частоты (ФАПЧ) и исключение ошибок, связанных с дискретизацией сигнала по теореме Котельникова. Научный журнал. «Общество знание и социальная психология» выпуск 2 (46) 2023, С. 757-778.

10. Рысин А.В., Бойкачёв В.Н., Наянов А.М. Способ конструктивного расположения и разложения антенн АФАР для многофункционального использования в космических аппаратах (КА) низкоорбитальных систем спутниковой связи (НССС) при оптимизации радиотехнических параметров и масса-габаритных

характеристик. Научный журнал «Научная ассоциация учёных» том 1, №88, (2023), Технические науки, С. 14-38.

11. Г.Т. Марков, Б.М. Петров, Г.П. Грудинская. Электродинамика и распространение радиоволн. Москва «Советское радио», 1979 г., 314 с.

12. <https://goo.su/vA5z> (ГЛОНАСС).

13. Справочник офицера противовоздушной обороны / Под ред. Г.В.Зимины. – М.: Воениздат, 1981, 95 с.

14. <https://masters.donntu.ru/2015/frt/demidov/library/article3.htm?ysclid=lh738yjrj568881328> (Передача данных с борта БПЛА: стандарты НАТО. Автор: В.Слюсар, источник: Электроника: Наука, Технология, Бизнес. - 2010, №3, С.80-86).

15. Мамонкин И.Г. Усилительные устройства. Учебное пособие для вузов. Изд.2-е, доп. и перераб. М., «Связь», 1977, 235 с.

RYSIN Andrey Vladimirovich

radio engineer, ANO “STRC” Technical Committee”, Russia, Moscow

BOYKACHEV Vladislav Naumovich

candidate of technical sciences,
director, ANO “STRC” Technical Committee”, Russia, Moscow

NAYANOV Alexey Mikhailovich

head of the sector, ANO “STRC” Technical Committee”, Russia, Moscow

OSTROVSKY Yakov Borisovich

candidate of technical sciences, head of department,
ANO “STRC” Technical Committee”, Russia, Moscow

SUBSTANTIATION AND COMPARISON OF FUNCTIONAL RADIO CONTROL SCHEMES FOR UNMANNED AERIAL VEHICLES (UAVS) IN A WIDE FREQUENCY RANGE BASED ON OPTIMIZED RADIO TECHNICAL PARAMETERS

Abstract. *At the present stage of development of radio control and communication systems, the issue of optimizing radio-electronic devices in micromodule design is acute in task to reduce economic costs due to unification and multifunctional use. At the same time, there is a need to optimize work for some specific tasks, taking into account protection from radio interference. In this article, based on the analysis of the characteristics of known radio systems, functional schemes are proposed that provide execution of a micromodule radio of electronic device for radio control with optimization of radio technical parameters in a wide frequency range. Such functional schemes in combination with the execution of tasks of unmanned aerial vehicles can have multifunctional use in communication, navigation and remote sensing of the Earth.*

Keywords: *radio control, Kotelnikov's theorem, types of radio signal modulations, velocity of information transfer, Doppler frequency shift.*

ШАРИКОВ Игорь Анатольевич

инженер-электроник 2 категории, АО НПП «Рубин»,
Россия, г. Пенза

ДЕНЬЖАКОВ Сергей Юрьевич

инженер-электроник 2 категории, АО НПП «Рубин»,
Россия, г. Пенза

ТИХОНОВ Евгений Сергеевич

инженер-технолог 2 категории, АО НПП «Рубин»,
Россия, г. Пенза

МАКЕЕВ Владимир Александрович

инженер-технолог 2 категории, АО НПП «Рубин»,
Россия, г. Пенза

ПРОБЛЕМЫ И ПУТИ РЕШЕНИЯ ПРЕОБРАЗОВАНИЯ ДАННЫХ ДЛЯ СИСТЕМ СПУТНИКОВОЙ СВЯЗИ

Аннотация. Исследование посвящено актуальным проблемам преобразования данных для систем спутниковой связи. Кроме того, авторами предложены пути решения данных проблем с соответствующим обоснованием. Также предложен механизм преобразования данных для систем спутниковой связи.

Ключевые слова: спутниковая связь, преобразование данных, скорость передачи данных, хранение данных, архивация данных.

Актуальность исследования

Представленная тема исследования остается актуальной в настоящее время. Спутниковые системы связи играют важную роль в передаче данных и обеспечении связности в различных отраслях, таких как телекоммуникации, навигация, метеорология и дистанционное зондирование Земли. В связи с постоянным развитием технологий и растущими потребностями пользователей, возникают различные проблемы, связанные с преобразованием данных в системах спутниковой связи. В связи с чем, данные проблемы требуют решения с учетом использования современных технологий.

Цель исследования

Целью исследования является изучение проблем, связанных с преобразованием данных в системах спутниковой связи, и предложении путей и методов их решения. В частности, данное исследование нацелено на разработку и оптимизацию алгоритмов, протоколов и технологий, которые обеспечат эффективную передачу, обработку и хранение данных в спутниковых системах связи.

Материал и методы исследования

Изучением вопросов, посвященных анализу проблем и путей решения преобразования данных для систем спутниковой связи занимались такие ученые как В.А. Митюков, И.В. Стеблева, Д.А. Заварин, А.А. Тесаловский, Д.Г. Шаповалов, А.С. Маслов и др.

Методами исследования являются: эмпирическое исследование, математическое моделирование, проектирование и моделирование систем, теоретический анализ.

Результаты исследования

Преобразование данных для систем спутниковой связи может столкнуться с несколькими проблемами, связанными с объемом данных, скоростью передачи, обработкой и сохранением данных. Можно выделить следующие проблемы и возможные пути их решения:

Объем данных. Системы спутниковой связи генерируют огромное количество данных, особенно при передаче изображений высокого разрешения или видео. Обработка и передача таких объемных данных может представлять сложности.

Путь решения: необходимо использовать методы сжатия данных, такие как сжатие без потерь или сжатие с потерями, чтобы уменьшить объем передаваемых данных без существенной потери качества. Также можно использовать техники субдискретизации или выбирать только часть данных для передачи в зависимости от их важности.

Скорость передачи данных. Системы спутниковой связи обычно имеют ограниченную пропускную способность, что может приводить к задержкам и снижению скорости передачи данных.

В целях решения проблемы целесообразно использовать сжатие данных для уменьшения объема передаваемых данных и, следовательно, увеличения скорости передачи. Также можно оптимизировать протоколы передачи данных и использовать специальные алгоритмы управления потоком данных для более эффективного использования доступной пропускной способности.

Обработка данных в реальном времени. Некоторые системы спутниковой связи требуют обработки данных в реальном времени, например, для моментальной передачи видео или для навигационных систем.

Путь решения: можно использовать мощные вычислительные ресурсы на борту спутника или в центральных станциях для обработки данных в реальном времени. Также можно использовать распределенные системы обработки данных, где часть вычислений выполняется на спутнике, а часть – на земле.

Хранение данных. Спутники могут собирать огромное количество данных, которые требуется сохранить для будущего использования. Это может представлять вызовы в отношении пространства хранения и доступа к данным.

Для решения проблемы можно использовать компактные и эффективные методы хранения данных, такие как сжатие данных или использование специализированных хранилищ данных [1, с. 64].

Также можно использовать методы архивации и компрессии. Архивация данных позволяет упаковать несколько файлов или данных в один архивный файл, что уменьшает объем занимаемого пространства. Компрессия данных позволяет уменьшить размер файлов, используя алгоритмы сжатия. Также можно применять стратегии управления жизненным циклом данных, чтобы хранить только актуальные

данные и архивировать или удалить устаревшие данные.

Обеспечение надежности передачи данных. В условиях спутниковой связи возможны помехи, потери сигнала или искажения данных. Это может привести к ошибкам и потере целостности данных.

Путь решения: для обеспечения надежности передачи данных можно использовать методы кодирования и обнаружения ошибок. Например, можно применять коды исправления ошибок, которые добавляют дополнительную информацию для восстановления исходных данных при их повреждении в процессе передачи. Также можно использовать алгоритмы обнаружения ошибок, которые позволяют определить наличие ошибок в данных и принять соответствующие меры для их исправления или повторной передачи.

Безопасность данных. Важным аспектом преобразования данных для систем спутниковой связи является обеспечение безопасности передаваемых и хранимых данных. Спутники могут стать объектом кибератак, а данные могут содержать конфиденциальную или чувствительную информацию.

Для обеспечения безопасности данных можно использовать различные методы шифрования, чтобы защитить информацию от несанкционированного доступа или перехвата. Можно также применять протоколы аутентификации и контроля доступа для обеспечения только авторизованного доступа к данным.

Преобразование данных для систем спутниковой связи является сложной задачей, и конкретные проблемы и пути их решения могут зависеть от конкретной системы и требований [2, с. 125].

В этой целесообразно рассмотреть существующие механизмы преобразования данных. Ниже приведены некоторые из них.

1. Кодирование данных. Кодирование данных используется для преобразования и представления информации в формат, который можно передавать через канал связи спутника. Это может включать в себя преобразование данных в цифровой формат и применение сжатия данных для уменьшения объема передаваемых данных. Кодирование может также включать в себя добавление дополнительных контрольных битов для обнаружения и исправления ошибок в данных.

2. Модуляция. Модуляция является процессом преобразования цифровых данных в

аналоговый сигнал, который может быть передан через спутниковый канал связи. Различные методы модуляции, такие как амплитудная модуляция (AM), частотная модуляция (FM) или фазовая модуляция (PM), используются для представления цифровых данных в виде изменений амплитуды, частоты или фазы носителя сигнала [3, с. 93].

3. Множественный доступ. В системах спутниковой связи могут быть множественные пользователи или устройства, которые должны одновременно передавать данные через один спутниковый канал связи. Для обеспечения эффективного использования доступной пропускной способности применяются методы множественного доступа, такие как временное разделение каналов (TDMA), частотное разделение каналов (FDMA) или кодовое разделение каналов (CDMA).

4. Декодирование данных. После передачи данных через спутниковый канал связи необходимо выполнить декодирование данных для восстановления исходной информации. Это может включать в себя процессы обратного преобразования, распаковки и восстановления данных в их исходный формат [4, с. 289].

Выводы

Преобразование данных для систем спутниковой связи представляет свои собственные проблемы и вызовы. Важно эффективно управлять объемом данных, обеспечивать высокую скорость передачи, обрабатывать данные в реальном времени, эффективно хранить данные, обеспечивать надежность передачи и обеспечивать безопасность данных.

Для решения этих проблем можно применять различные методы и механизмы. Некоторые из них включают сжатие данных, оптимизацию пропускной способности и протоколов передачи, использование вычислительных ресурсов на борту спутников, архивацию и компрессию данных, применение кодирования и

обнаружения ошибок, а также использование шифрования и контроля доступа для обеспечения безопасности данных.

Однако, каждая система спутниковой связи имеет свои уникальные требования и ограничения, поэтому конкретные проблемы и пути их решения могут отличаться. Необходимо учитывать особенности конкретной системы и выбирать наиболее подходящие методы и механизмы для решения проблем преобразования данных.

Преобразование данных для систем спутниковой связи является важной задачей, которая требует тщательного проектирования и оптимизации. С постоянным развитием технологий и инноваций в этой области, продолжают появляться новые методы и решения, способствующие более эффективному и надежному преобразованию данных в системах спутниковой связи.

Литература

1. Кукарцев В.В., Шеенок Д.А. Оценка затрат на модернизацию программного обеспечения критических по надежности систем // Вестник СибГАУ. – 2012. – Вып. 5(45). – С. 62-65.
2. Митюков В.А., Непомнящий О.В. Перспективные технологии кодирования видеопотока в каналах спутниковой связи // Современные проблемы радиотехники и связи. Материалы XII Всероссийской научно-технической конференции студентов, аспирантов и молодых ученых, Иркутск. – 2013. – С. 122-129.
3. Стеблева И.В. Проблемы и перспективы глобальной навигационной спутниковой системы / И.В. Стеблева, Д.В. Завгородняя, Ю.В. Куражова // Молодой ученый. – 2017. – № 13 (147). – С. 92-94.
4. Шаповалов Д.Г., Маслов А.С. Проблема преобразования данных для систем спутниковой связи // Технологии. Инновации. Связь. – 2022. – № 15. – С. 287-291.

SHARIKOV Igor Anatolyevich

electronics engineer of the 2nd category, JSC NPP "Rubin", Russia, Penza

Sergey Yuryevich DENZHAKOV

electronics engineer of the 2nd category, JSC NPP "Rubin", Russia, Penza

TIKHONOV Evgeny Sergeevich

engineer-technologist of the 2nd category, JSC NPP "Rubin", Russia, Penza

MAKEEV Vladimir Aleksandrovich

engineer-technologist of the 2nd category, JSC NPP "Rubin", Russia, Penza

**PROBLEMS AND SOLUTIONS OF DATA CONVERSION
FOR SATELLITE COMMUNICATION SYSTEMS**

Abstract. *The research is devoted to the actual problems of data transformation for satellite communication systems. In addition, the authors have proposed ways to solve these problems with appropriate justification. A data conversion mechanism for satellite communication systems is also proposed.*

Keywords: *satellite communication, data conversion, data transfer rate, data storage, data archiving.*

ВОЕННОЕ ДЕЛО

ЧИНАКАЕВ Данил Рафаэлович

курсант, Новосибирский ордена Жукова военный институт имени генерала армии И. К. Яковлева войск национальной гвардии Российской Федерации, Россия, г. Новосибирск

ОТРОКОВ Марк Антонович

курсант, Новосибирский ордена Жукова военный институт имени генерала армии И. К. Яковлева войск национальной гвардии Российской Федерации, Россия, г. Новосибирск

ФИЗИЧЕСКОЕ ВОСПИТАНИЕ ВОЕННОСЛУЖАЩИХ ВОЙСК НАЦИОНАЛЬНОЙ ГВАРДИИ

Аннотация. *Физическое воспитание, являясь составной частью воспитательной работы с военнослужащими, проявляется через гармонизацию духовных и физических кондиций, формирование таких человеческих возможностей как здоровье, физическое и психическое благополучие и физическое совершенствование, что является одним из компонентов уровня развития личности. Поэтому важной задачей является пропаганда основных ценностей физической культуры, обеспечивающих формирование физического и нравственного здоровья, интеллектуальной и творческой работоспособности личности всех военнослужащих войск национальной гвардии.*

Ключевые слова: *система, образование, курсанты, военнослужащий, развитие, воинский коллектив, армия, воспитание.*

Физическое воспитание, являясь составной частью воспитательной работы с военнослужащими, проявляется через гармонизацию духовных и физических кондиций, формирование таких человеческих возможностей как здоровье, физическое и психическое благополучие и физическое совершенствование, что является одним из компонентов уровня развития личности. Поэтому важной задачей является пропаганда основных ценностей физической культуры, обеспечивающих формирование физического и нравственного здоровья, интеллектуальной и творческой работоспособности личности всех военнослужащих войск национальной гвардии.

Введения современных боевых действий и тому подобное. Теоретические знания, безусловно, должны трансформироваться в умение применять эти знания в конкретных, четко определенных действиях в боевых условиях.

Воин должен находить наиболее оптимальный вариант своих действий и применения конкретной оружия, эффективность которой полностью зависит от его мастерства.

Теоретические знания и практические умения становятся прочной основой для создания устойчивых навыков владения техникой и оружием. В современных условиях высокой интенсивности боевых действий и обусловленного ими дефицита времени только те действия военнослужащих, доведенные до автоматизма, позволяют достигать успехов в выполнении поставленных задач. Эти военно-прикладные навыки невозможно приобрести без достаточной физической и психологической подготовки, что доказано многими специальными исследованиями и военной практикой.

В современную эпоху резко возросли требования к профессиональной подготовке специалистов в высшей школе любого направления и профиля. В ряду важнейших качеств личности современного специалиста физическая культура занимает особое место, о важности формирования которой много пишут отечественные исследователи.

Главными факторами воспитывающего воздействия физической культуры и спорта являются:

- всестороннее развитие личности человека;
- утверждение здорового образа его жизни;
- формирование личностной потребности в физическом и нравственном совершенствовании.

Реализация этих направлений в воспитательной работе с военнослужащими осуществляется через решение следующих задач:

- обеспечение и защита права граждан на занятия физической культурой и спортом;
- создание правовых гарантий для функционирования и развития системы физической культуры и спорта;
- определение прав, обязанностей и ответственности физических и юридических лиц в области физической культуры и спорта, а также правовое регулирование их отношений в данной сфере.

Систематические занятия физическими упражнениями, отказ от вредных привычек, поддержание здорового образа жизни способствует:

- формированию физической культуры личности, структуру которой составляет совокупность духовных и материальных ценностей человека, преломленных через его сознание и включающих специфические знания, убеждения и привычки к занятиям;
- развития физических качеств человека, повышения уровня овладения жизненно-важными двигательными навыками.

Воспитывающее воздействие физических упражнений на человека многообразно, могут:

1. Оказывать положительное влияние на все органы и системы организма человека.
2. Повышать его умственную и физическую работоспособность.
3. Способствовать ускоренному развитию высоких морально-нравственных качеств его личности. Физическое воспитание имеет очень тесные связи с процессом профессионального становления специалиста и поэтому способствует решению специфических задач профессиональной подготовки.

В особой мере это касается профессиональной деятельности военнослужащих. Очевидно, то положение, что только командными методами воспитать у обучаемых военного вуза потребность в физическом совершенствовании

практически невозможно. Важнейшей задачей является необходимость формирования у курсантов понимание важности непрерывного физического совершенствования. Большое влияние в данном случае оказывают содержание учебных занятий – лекций, предусмотренных программой, и построение учебно-тренировочного процесса. Как рекомендуют известные ученые и методисты высшей школы (А.В. Барбанщиков, В.П. Давыдов, Э.П. Утлик, Н.Ф. Феденко, др.), в лекциях необходимо:

- раскрывать взаимосвязь между физической подготовкой и профессиональной деятельностью;
- давать анализ специальной направленности содержания занятий для конкретной воинской специальности;
- акцентировать внимание на особенностях физической подготовки различных категорий военнослужащих.

Литература

1. Федеральный закон Российской Федерации от 3 июля 2016 г. № 226-ФЗ «О войсках национальной гвардии Российской Федерации».
2. Приказ №132 от 20 апреля 2021 года «Об утверждении Наставления по организации в войсках национальной гвардии Российской Федерации военно-политической (политической) работы».
3. Приказ №100 от 13 ноября 2016 года «Об организации физической подготовке в войсках национальной гвардии».
4. Алёхин И.А. Военная педагогика: учеб. пособ. М. 2007.
5. Арутюнов С.А. Этнографическая наука и культурная динамика. Исследование по общей этнографии. – Минск: Изд-во БГУ, 1983. – С. 33.
6. Введение в педагогическую деятельность: Теория и практика: Учеб. пособие для студ. высш. учеб. заведений / Н.Н. Никитина, Н.В. Кислинская. – 2-е изд., испр. – М.: Издательский центр «Академия», 2006. – 224 с.
7. Введение в педагогическую деятельность: Учеб. пособие для студ. высш. пед. учеб. заведений / Под ред. А.С. Роботовой. – М.: Издательский центр «Академия», 2002. – 208 с.
8. Константинов Н. А., Медынский Е. Н., Шабеева М. Ф. История педагогики. М., 1983.

CHINAKAEV Danil Rafaelovich

cadet, Novosibirsk Order of Zhukov Military Institute named after General of the Army
I. K. Yakovlev of the National Guard of the Russian Federation, Russia, Novosibirsk

OTROKOV Mark Antonovich

cadet, Novosibirsk Order of Zhukov Military Institute named after General of the Army
I. K. Yakovlev of the National Guard of the Russian Federation, Russia, Novosibirsk

**PHYSICAL EDUCATION OF SERVICEMEN
OF THE NATIONAL GUARD TROOPS**

Abstract. *Physical education, being an integral part of educational work with military personnel, manifests itself through the harmonization of spiritual and physical conditions, the formation of such human capabilities as health, physical and mental well-being and physical improvement, which is one of the components of the level of personal development. Therefore, an important task is to promote the basic values of physical culture, which ensure the formation of physical and moral health, intellectual and creative performance of all servicemen of the National Guard troops.*

Keywords: *system, education, cadets, soldier, development, military collective, army.*

НЕФТЯНАЯ ПРОМЫШЛЕННОСТЬ

ЯГАФАРОВ Дамир Фанзилевич

студент кафедры транспорта и хранения нефти и газа,
Уфимский государственный нефтяной технический университет,
Россия, г. Уфа

ПОДЗЕМНОЕ ХРАНЕНИЕ ВОДОРОДА В ИСТОЩЕННОМ МЕСТОРОЖДЕНИИ

Аннотация. В исследовании рассматривается оптимизация закачки водорода в истощенное месторождение.

Ключевые слова: водород, подземное хранение, закачка водорода.

Растущая обеспокоенность изменением климата и необходимость сокращения выбросов парниковых газов привели к разработке различных технологий улавливания, утилизации и хранения углерода. Водород (H_2) стал перспективным кандидатом на производство и хранение чистой энергии, поскольку его можно производить из возобновляемых источников и использовать в качестве топлива или сырья для различных отраслей промышленности. Закачка H_2 для подземного хранения привлекает внимание как средство хранения избыточной возобновляемой энергии, сокращения выбросов парниковых газов и повышения экономической целесообразности систем возобновляемой энергетики. Однако оптимизация параметров закачки и оценка экономической целесообразности закачки H_2 имеют решающее значение для успешного внедрения.

Новизна данной работы заключается в оптимизации параметров закачки и оценке экономической целесообразности закачки H_2 для подземного хранения. В то время как предыдущие исследования изучали закачку H_2 для хранения энергии и борьбы с выбросами углерода, лишь немногие из них были посвящены оптимизации параметров закачки и экономической целесообразности этой технологии [1, с. 121].

Оптимизация параметров закачки, таких как давление закачки, скорость закачки и состав закачиваемой жидкости, может существенно повлиять на эффективность закачки H_2 для подземного хранения. Оптимизация этих параметров может повысить эффективность и снизить стоимость процесса закачки, тем самым повышая экономическую целесообразность данной технологии [2, с. 379].

Моделирование закачки водорода в Канчуринское подземное хранилище газа. Сравнительный анализ при закачке природного газа и водорода»

В настоящее время в России существуют хранилища природного газа, которые подходят для хранения водородных газов, поскольку геология подземных хранилищ доказала свою пригодность для хранения газа. Эти данные были использованы в исследовании, целью которого было оценить подземное хранилище чистого (100%) водорода. В Канчуринском ПХГ имеется открытый забой и трубопроводы спущены до кровли пласта-коллектора. Скважина была оборудована методом компримирования и освоение не было полным. Программном комплексе MultiFlash были смоделированы две смеси: природный газ и чистый водород.

Далее была построена нагнетательная скважина.

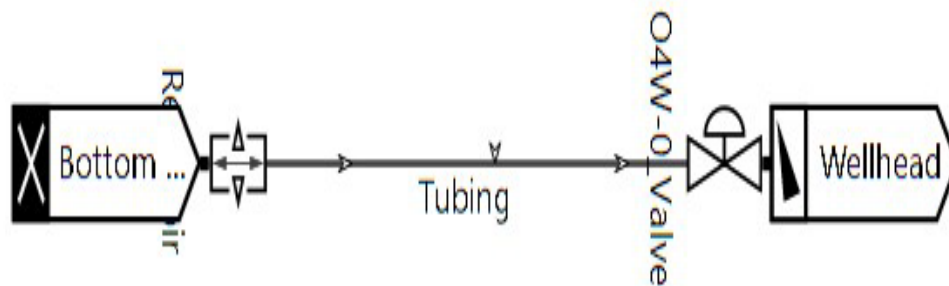


Рис. 1. Схема нагнетательной скважины

Материал НКТ углеродистая сталь, внутренний диаметр – 0,07 м, внешний диаметр – 0,08 м, шероховатость НКТ: 0,03 мм. Распределение температуры вертикальная. Начальная точка $t_1= 25^\circ\text{C}$ и давление $P_1= 9$ МПа, и конечные

параметры $t_2=86^\circ$ и $P_2=15$ МПа. Заданный постоянный расход водорода и природного газа равняется $0,7 \cdot 10^6 \frac{\text{м}^3}{\text{сут}}$.

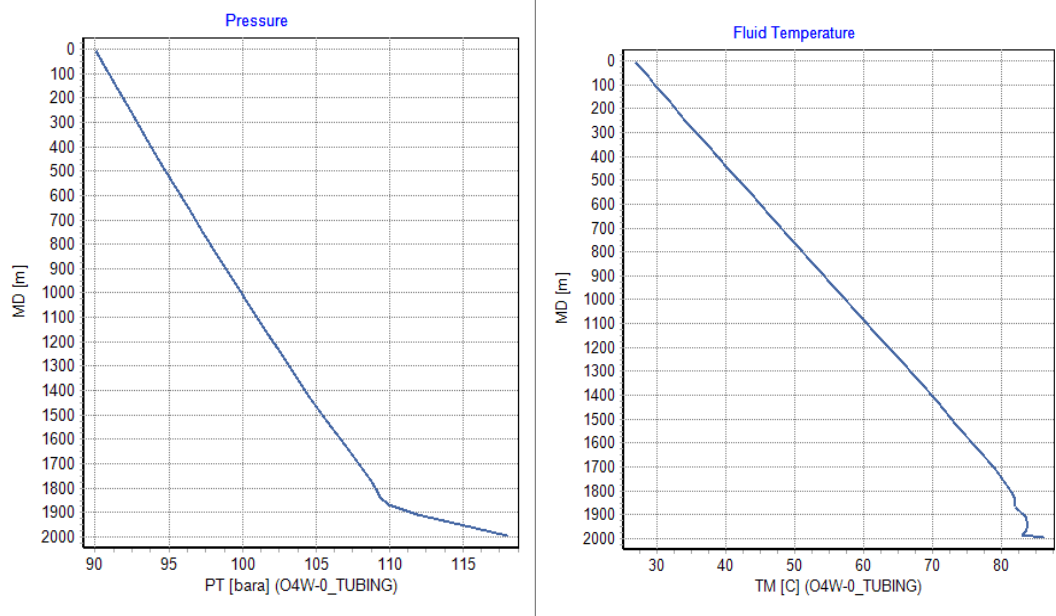


Рис. 2. Изменение давления РТ и температуры ТМ по времени природного газа

Природный газ: при попадании в подземное хранилище газ, имеющий температуру порядка 28 градусов Цельсия, отдает свое тепло вмещающим породам. Этот процесс продолжается и после остановки закачки. Внизу породы более разогреты поэтому температура повышается до 86 градусов. При интенсивном процессе закачки газа в подземные хранилища давление газа на устье составляет 9 МПа, на забое 18 МПа давление газа. Данный процесс является динамическим. Повышение давления в скважине приводит к росту противодавления на пласт. При закачке газа вокруг нагнетательных

скважин создаются репрессивные воронки давления, поэтому пластовое давление меняется как по площади ПХГ, так и по толщине газовой залежи наблюдается, что происходит задержка газа на глубине 1700 м, на верхней части коллектора и в конце коллектора принимает значение 1. Справа видно, что меняется от 20 м³/d до 0 м³/d, означает то что заданный объем был закачен.

Аналогичным способом производим закачку водорода, при том же давлении, температуре, пластовое давление и проницаемости пласта.

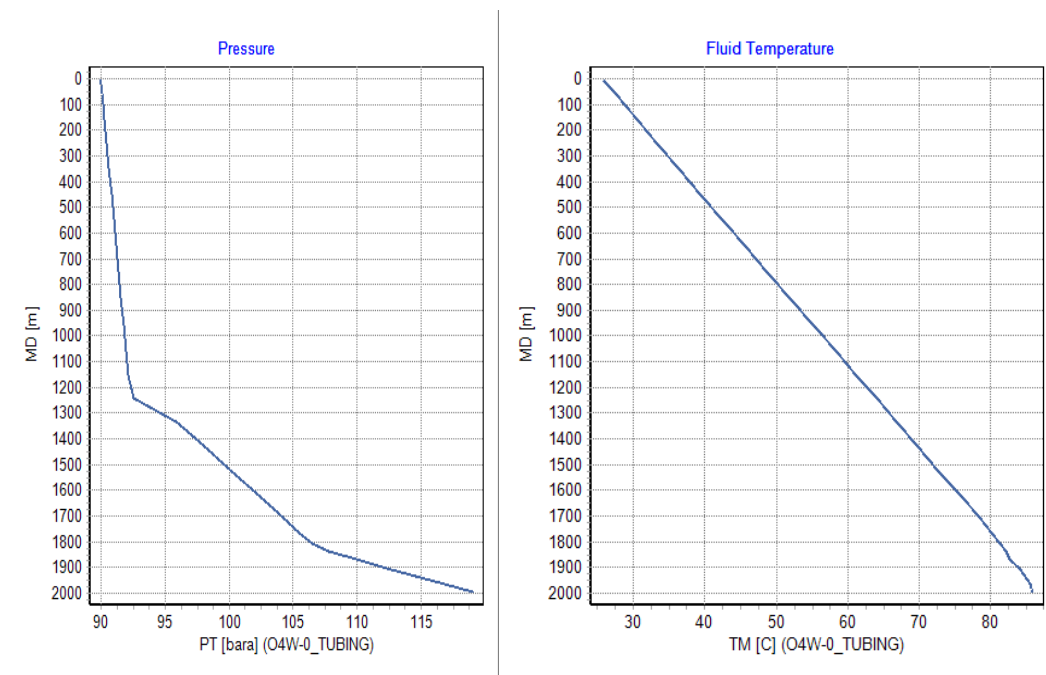


Рис. 3. Изменение давления и температуры водорода по времени

Закачка водорода начинается с давления 9 МПа и увеличивается по глубине скважины, конечное давление в коллекторе составляет 18 МПа, то же давление, что и при закачке природного газа. Так же увеличивается давление, отметить тот факт, что горные породы коллекторов ПХГ, особенно в призабойной зоне испытывают растягивающие и сжимающие нагрузки как по вертикали (по толщине пластов), так и по горизонтали, из-за чего растет давление и температура. Повышение давления при закачке водорода в скважину происходит из-за того, что H_2 обладает свойством расширяться при увеличении температуры и сжиматься при ее понижении, происходит увеличение его объема, что приводит к повышению давления внутри скважины. При закачке водорода в скважину происходит повышение температуры.

В первую очередь это происходит из-за того, что при сжатии водорода его температура увеличивается. Из-за того, что при сжатии газа уменьшается его объем, это приводит к увеличению плотности частиц и энергии частицы (температуры).

Во-вторых, если водород содержит примеси или загрязнения, то при их окислении может

выделяться тепло. Некоторые примеси могут реагировать с водородом при высоких давлениях и температурах, что также может вызывать повышение температуры.

Более того, оценка экономической целесообразности закачки H_2 для подземного хранения имеет решающее значение для определения коммерческой жизнеспособности этой технологии. Для оценки экономической целесообразности закачки H_2 необходимо учитывать несколько факторов, таких как капитальные затраты, эксплуатационные расходы и потенциальная прибыль. Поэтому в работе были определены основные технические параметры, которые подходят для подземного хранения водорода, а также оценены основные экономические параметры.

Литература

1. Бутов К.А. Обогащение природного газа неуглеводородными компонентами на примере H_2 // Успехи современной и образования. № 7, 2016. Том 3. Бутов К.А. 560 С.120-122.
2. Ермилов, О. М. Физика пласта, добыча и подземное хранение газа / О.М. Ермилов, В.В. Ремизов, А.И. Ширковский, Л.С. Чугунов. - М.: Наука, 1996. - 540 с.

YAGAFAROV Damir Fanzilevich

student of the Department of Transport and Storage of Oil and Gas,
Ufa State Oil Technical University, Russia, Ufa

UNDERGROUND STORAGE OF HYDROGEN IN A DEPLETED FIELD

Abstract. *The study examines the optimization of hydrogen injection into a depleted field.*

Keywords: *hydrogen, underground storage, hydrogen injection.*

Актуальные исследования

Международный научный журнал

2023 • № 21 (151)

Часть I

ISSN 2713-1513

Подготовка оригинал-макета: Орлова М.Г.

Подготовка обложки: Ткачева Е.П.

Учредитель и издатель: ООО «Агентство перспективных научных исследований»

Адрес редакции: 308000, г. Белгород, пр-т Б. Хмельницкого, 135

Email: info@apni.ru

Сайт: <https://apni.ru/>

Отпечатано в ООО «ЭПИЦЕНТР».

Номер подписан в печать 29.05.2023г. Формат 60×90/8. Тираж 500 экз. Цена свободная.

308010, г. Белгород, пр-т Б. Хмельницкого, 135, офис 40