МИНИСТЕРСТВО ОБРАЗОВАНИЯ И НАУКИ РЕСПУБЛИКИ КАЗАХСТАН

Некоммерческое акционерное общество
«АЛМАТИНСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ ЭНЕРГЕТИКИ И СВЯЗИ ИМЕНИ ГУМАРБЕКА ДАУКЕЕВА»

Кафедра Телекоммуникационных сетей и систем

«Допущен к защите»

Зав.кафедрой Темырканова Э.К., доктор PhD, доц.
(Ф.И.О., ученая степень, звание)

_____«____» _____2020 г.
(подпись)

ДИПЛОМНЫЙ ПРОЕКТ

На тему: Спутниковые системы навигации воздушных судов
Специальность 5В071900 – Радиотехника, электроника и телекоммуникации
Выполнила Рахимова А.А. **Группа** РЭТ-16-5
Научный руководитель Сафин Р.Т, ст. преп.
(Ф.И.О., ученая степень, звание)

Консультанты
по технической части:
Сафин Р.Т, ст. преп.
(Ф.И.О., ученая степень, звание)

_____«____» _____2020 г.
(подпись)

по экономической части:
Ибришев Н.Н., д.э.н., профессор
(Ф.И.О., ученая степень, звание)

_____«____» _____2020 г.
(подпись)

по безопасности жизнедеятельности:
Бекбасаров Ш.Ш., д.т.н
(Ф.И.О., ученая степень, звание)

_____«____» _____2020 г.
(подпись)

по применению вычислительной техники:
Сафин Р.Т, ст. преп.
(Ф.И.О., ученая степень, звание)

_____«____» _____2020 г.
(подпись)

Нормоконтролер: Гармашова Ю.М., доц.
(Ф.И.О., ученая степень, звание)

_____«____» _____2020 г.
(подпись)

Рецензент: Маркосян М.В., д.т.н
(Ф.И.О., ученая степень, звание)

_____«____» _____2020 г.
(подпись)

Алматы 2020 г.

МИНИСТЕРСТВО ОБРАЗОВАНИЯ И НАУКИ РЕСПУБЛИКИ КАЗАХСТАН

Некоммерческое акционерное общество
«АЛМАТИНСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ ЭНЕРГЕТИКИ И СВЯЗИ ИМЕНИ ГУМАРБЕКА ДАУКЕЕВА»
Институт Космической инженерии и телекоммуникаций (ИКИТК)
Кафедра Телекоммуникационных сетей и систем
Специальность 5В071900 – Радиотехника, электроника и телекоммуникаций

ЗАДАНИЕ
на выполнение дипломного проекта

Студенту Рахимовой Альфие Алековне
Тема проекта Спутниковые системы навигации воздушных судов

Утверждена приказом ректора № 147 от «11» ноября 2019 г.

Срок сдачи законченного проекта «25» мая 2020 г.

Исходные данные к проекту требуемые параметры результатов проектирования (исследования) и исходные данные объекта: Технология GBAS, пакет прикладных программ «Технический расчет». Технические данные системы ГЛОНАСС. Функциональные дополнения ABAS. Функциональные дополнения SBAS. Дальность действия при посадке 37 км, дальность в плохих погодных условиях 11,5 км, длина волны 1550 нм. Напряженность поля 395 мкВ /м.

Перечень вопросов, подлежащих разработке в дипломном проекте, или краткое содержание дипломного проекта: Обзор характеристик и требований к навигационным космическим аппаратам систем ГЛОНАСС и GPS. Структура навигационных радиосигналов ГЛОНАСС и GPS. Описание интерфейса. Состояние и направления развития спутниковой навигации. Функциональные дополнения к системам спутниковой навигации. Функции функциональных дополнений. Типы функциональных дополнений ГНСС. Технические требования, предъявляемые к наземным радионавигационным функциональным дополнениям. Технические характеристики и функции GBAS. Мировая практика применения ЛККС. Стратегия внедрения и применения средств обеспечения захода на посадку. Бизнес план. Безопасность жизнедеятельности.

Перечень графического материала (с точным указанием обязательных чертежей): Цели и задачи дипломного проекта. Актуальность. Технология GBAS. Расчет напряженности поля в точке приема и радиуса действия наземных функциональных дополнений в аэропорту уплотнения. Листинг программы «Технический расчет». Результаты моделирования. Анализ результатов расчета. Расчет радиуса действия по прямой видимости и напряженности поля. Расчет радиуса действия по прямой видимости и напряженности поля. Расчет требований к точному заходу на посадку и их реализация. Сравнение существующих функциональных дополнений с расчётными данными. Выводы. Экономическая эффективность проекта. Безопасность проекта для жизнедеятельности.

Основная рекомендуемая литература:

1 Харисова В.Н. Глобальная спутниковая радионавигационная система ГЛОНАСС. – М: Наука, 1998.

2 Карлащук В.И. Спутниковая навигация. Методы и средства. – М: Солон-Пресс, 2006. – 176 с

3 Одуан К. Измерение времени. Основы GPS. – М: Техносфера, 2002. – 383 с.

4 Голубицкая Е. А. Экономика связи: Учебник для вузов. – М: Радио. и связь, 2000.

5 Баклашова Н.И. Охрана труда на предприятиях связи и охрана окружающей среды: Учебник. – М: Радио.и связь, 1999. – 288 с.

Консультанты по проекту с указанием относящихся к ним разделов проекта

Раздел	Консультант	Сроки	Подпись
Техническая часть	Сафин Р.Т.	09.10.2019 г.	
Экономическая часть	Ибришев Н.Н	22.05.2020 г.	
Безопасность жизнедеятельности	Бекбасаров Ш. Ш	24.05.2020 г.	
Применение вычислительной техники	Сафин Р.Т.	25.05.2020 г.	
Нормоконтроль	Гармашова Ю.М.	28-30.05.2020 г.	

График
подготовки дипломного проекта

№ п/п	Наименование разделов, перечень разрабатываемых вопросов	Сроки представления научному руководителю	Примечание
1	Обзор характеристик и требований к навигационным космическим аппаратам систем ГЛОНАСС и GPS	13.01.-01.02. 2020 г.	
2	Структура навигационных радиосигналов ГЛОНАСС и GPS	03-30.02. 2020 г.	
3	Описание интерфейса	01-12.03. 2020 г.	
4	Состояние и направления развития спутниковой навигации	14-20.03. 2020 г.	
5	Функциональные дополнения к системам спутниковой навигации	22.03.-12.04. 2020 г.	
6	Типы функциональных дополнений ГНСС Типы функциональных дополнений ГНСС	12-25.04. 2020 г.	
7	Технические требования, предъявляемые к наземным радионавигационным функциональным дополнениям	25-30.04. 2020 г.	
8	Технические характеристики и функции GBAS	01-15.05. 2020 г.	
9	Мировая практика применения ЛККС	16-18.05. 2020 г.	
10	Стратегия внедрения и применения средств обеспечения захода на посадку	19-22.05. 2020 г.	
11	Бизнес план	22-23.05. 2020 г.	
12	Безопасность жизнедеятельности	24-25.05. 2020 г.	

Дата выдачи задания «9» октября 2019 г.

Заведующий кафедрой _____ (Темырканова Э.К.)
(подпись) (Ф.И.О.)

Научный руководитель проекта _____ (Сафин Р.Т.)
(подпись) (Ф.И.О.)

Задание принял к исполнению студент _____ (Рахимова А.А.)
(подпись) (Ф.И.О.)

Аңдатпа

Осы жұмыста жер бетіндегі функционалдық толықтырулардың қолдануылардың есептің артына навигациялар дәлдіктері жоғарылатулары әдістері қарастырылған. Негізде станциялардың әсерлері радиустардың есеп айырысулары шығарылған белгілі. Навигациялар техникалық өрлеуі өзіне тұрған орынылар және сенімділік анықтаулар дәлдігі дифференциалды түзетулердің есептің артына мәліметтер берілетін қоса атқарып жатыр. Отырғызуларға аймақта ұшақтың тұрған орынылары дәлдіктері қамтамасыз етуі қажетті біздің еліміздің аумақтың полетов үстінде іске асыру үшін шетелдік авиакомпанияларға қарқындарға полетов және тартуларға жоғарылатуларға мақсаттарда Қазақстан Республикасы азаматтық авиация үшін.

Аннотация

В данной работе рассмотрены методы повышения точности навигации за счет использования наземных функциональных дополнений. Произведены расчеты радиусов действия станций на основе известных. Технический прогресс навигации совмещает в себе точность определения местоположения и надежность передаваемой информации за счет дифференциальных поправок. Обеспечение точности местоположения самолета в зоне посадки необходимо для гражданской авиации Республики Казахстан в целях повышения интенсивности полетов и привлечения иностранных авиакомпаний для совершения полетов над территорией нашей страны.

Annotation

In this work, we consider methods for improving navigation accuracy through the use of ground-based functional additions. The calculated action radii of the stations based on the known. The technological progress of navigation combines the accuracy of determining the location and the reliability of the transmitted information due to differential corrections. Ensuring the accuracy of the location of the aircraft in the landing zone is necessary for the civil aviation of the Republic of Kazakhstan in order to increase the intensity of flights and attract foreign airlines to fly over the territory of our country.

Содержание

Введение……... 7
1 Характеристики и требования к навигационным космическим аппаратам систем ГЛОНАСС и GPS…….. 8
1.1 Структура навигационных радиосигналов ГЛОНАСС и GPS……... 8
1.2 Описание интерфейса…… 9
2 Состояние и направления развития спутниковой навигации…….. 16
2.1 Функциональные дополнения к системам спутниковой навигации… 17
2.2 Функции функциональных дополнений…….. 17
2.3 Типы функциональных дополнений ГНСС……. 18
2.4 Характеристики существующих функциональных дополнений…… 21
3 Технические требования, предъявляемые к наземным радионавигационным функциональным дополнениям…….. 27
3.1 Технические характеристики и функции GBAS……. 27
3.2 Мировая практика применения ЛККС……. 31
4 Стратегия внедрения и применения средств обеспечения захода на посадку…….. 31
4.1 Критерии очередности оснащения аэропортов Казахстана локальными контрольно-корректирующими станциями…… 33
4.2 Технический расчёт…… 35
5 Безопасность жизнедеятельности …….. 47
5.1 Анализ условий труда персонала при обслуживании технологического оборудования……. 47
5.2 Организационные и технические противопожарные мероприятия….. 48
5.3 Выбор методов и средств пожаротушения……. 49
5.4 Эвакуационные выходы и пути…… 54
5.5 Выводы по части безопасности жизнедеятельности……. 63
6 Бизнес-план……... 63
6.1 Резюме……. 63
6.2 Описание продукции…….. 64
6.3 Организационный план…….. 65
6.4 Производственный план…… 65
6.5 Маркетинговый план……. 65
6.6 Финансовый план……... 65
6.7 Выводы по экономической части……. 70
Заключение……... 71
Список сокращений……. 72
Список литературы…….. 73
Приложение А Листинг программы…….. 75
Приложение Б Справка антиплагиата
Приложение В Электронная версия ДП и демонстрационные материалы (CD-R)
Приложение Г Раздаточные материалы

Введение

Навигационной спутниковой системой «ГЛОНАСС» и системой позиционирования «GPS» определяется положение объекта на местности по его координатам.

Данные системы являются похожими друг на друга, но каждая их них содержит в себе 3 составляющих сегмента:

- космический (ПКА);
- управляющий (ПКУ);
- пользовательский.

В космических системах ГЛОНАСС и GPS навигации используется 24 спутника, которые вращаются вокруг оси земной поверхности и имеют круговые орбиты. Спутники ГЛОНАСС имеют наклон 65°, период примерно 12 часов и расположены на земной орбите радиус которой равен 19100000 м в трех орбитальных плоскостях, которые разнесены на 120° по долготе. В каждой плоскости размещено по 8 спутников, которые одинаково сдвинуты по аргументу широты 45°, в других плоскостях они сведены на 15°. Каждый из GPS спутников имеет время обращения примерно 12 часов, высоту орбиты примерно 20200000 м и наклон приблизительно 55°. Это позволяет обеспечить навигацией все земное и околоземное пространство.

ПКУ имеет в своем составе управляющий комплекс и системы измерительных, управляющих и контролирующих станций. Такой же состав имеет GPS. К задачам ПКУ относится контроль действия ПКА, постоянное уточнение орбитальных параметров, и подача на НКА временных программ, программ управления и навигационных данных.

НАП включает в себя навигационные приемники и приборы обработки, использующиеся для приема сигналов со спутников и расчета своих координат, скорости и времени. Каждая НАП настроена для своей системы, но есть и приёмники для единовременного получения сигналов обеих систем навигации. Такие приёмники улучшают точность установления месторасположения, скорости передвижения и времени.

НАП ГЛОНАСС/GPS без запроса выполняют измерения дальности и скорости не меньше 3-4 спутников ГЛОНАСС/GPS, а также прием и обработку навигационных сообщений, которые находятся в спутниковых навигационных сигналах. В них отображается информация о месте и положении НКА во времени и пространстве. После обработки всех полученных данных могут быть определены две-три координаты пользователя, две-три части вектора скорости и происходит синхронизация его шкалы времени со шкалой мирового времени UTC(SU).

Сведения, передающиеся в сообщении навигации, это сведения, обеспечивающие проектирование операций навигационных определений, подбор подходящего "созвездия" НКА и выявление сигналов, которые передаются.

1 Характеристики и требования к навигационным космическим аппаратам систем ГЛОНАСС и GPS

В данном разделе рассматриваются общие характеристические данные сигналов ГЛОНАСС/GPS, показаны условия, которые влияют на качество навигационных сигналов, и приводится описание их структуры. Взаимодействие ПКА и навигационного оборудования потребителей НАП осуществляется с помощью радиолиний диапазона частот дециметровых длин волн. Любой НКА «Глонасс»/«Глонасс-М» посылает радиосигналы на своих частотах в двух поддиапазонах частот. НКА, расположенные в противолежащих точках плоскости орбиты (антиподные НКА), могут посылать навигационные радиосигналы на одних и тех же частотах. НКА технологии «Глонасс» испускают сигналы 2-х видов в L1 поддиапазоне: стандартной точности (СТ), который доступен каждому пользователю и высокой точности (ВТ), который доступен только отдельному кругу пользователей, а в L2 диапазоне один ВТ сигнал. Спутники технологии «Глонасс-М» излучают сигналы стандартной и высокой точностей в L1 и L2 диапазонах. В интересах правительства РФ используется сигнал ВТ, его применение спецпотребителями должно быть согласовано.

В дипломной работе были рассмотрены характеристические данные СТ сигналов в L1 и L2 диапазонах, которые передаются спутниками системы «ГЛОНАСС».

1.1 Структура навигационных радиосигналов ГЛОНАСС и GPS

Навигационный радиосигнал многокомпонентный и фазоманипулированный и посылается НКА ГЛОНАСС на своей несущей частоте в L1 и L2 поддиапазонах (см. рисунок 1.1). Фазовая манипуляция несущей реализуется на π радиан с погрешностью не больше ±0,19 рад. Фазы несущих колебаний, которые передаются спутниками ГЛОНАСС модулируются двоичной последовательностью, полученной сложением псевдослучайного (ПС) кода, цифровых данных и меандра по модулю два. Эталон частоты на борту – база для формирования всех вышеперечисленных элементов.

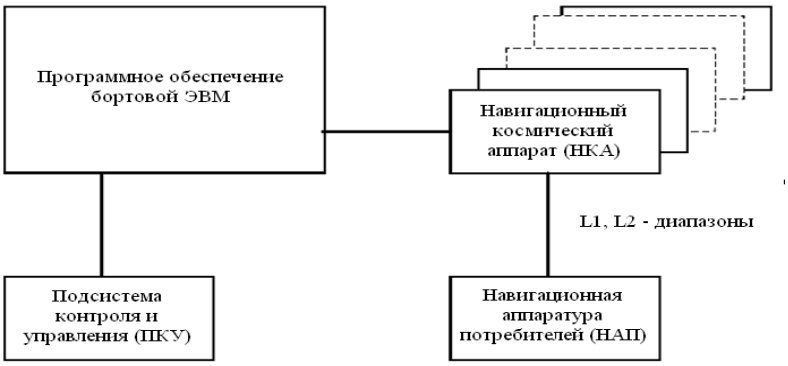

Рисунок 1.1 – Взаимодействие НКА и НАП

Цифровая информация, подразделяющаяся на оперативную и неоперативную, передается 50 бит/с. Оперативная – информация НКА, с чьего борта посылается данный сигнал. Неоперативная имеет отношение ко всем спутникам, находящимся в составе ПКА. Разберем систему GPS: фазоманипулированный сигнал излучается любым GPS-спутником в L1 и L2 диапазонах. В сигнале зашифровываются коды двух видов. Первый, код C/A (clear/acquisition, либо coarse/acquisition) доступен большому количеству потребителей. Его еще называют «грубым» кодом, он дает возможность лишь приближенно получать оценку месторасположения. Передача данного кода реализуется с применением фазоманипулированной последовательности, имеющей длину 1023 знака на L1 частоте. Защита от ошибок осуществляется при помощи последовательностей Гоулда. Время повторения равно 10^{-3} с. Частота тактов равна $1{,}023 \cdot 10^6$ Гц. Второй, P код (precision code), осуществляет более точное вычисление координат, но его на использование имеются ограничения со стороны GPS провайдера. Этот код посылается на частоте L2 с использованием сверхдлинной псевдослучайной последовательности с периодом 266 суток. Частота тактов равняется $10{,}23 \cdot 10^6$ Гц. Помимо данных кодов в сигнале GPS может содержаться Y код, который является зашифрованным вариантом кода P. Наряду с кодами C/A и P навигационный спутник исправно посылает специальное сообщение, содержащее дополнительные данные. Потребитель получает информацию характеристиках НКА – времени системы, эфемеридах (комплекс данных, которые точно описывают траекторию спутника), прогнозировании задержки в ионосфере, параметрах функционирования. Навигационное сообщение длиной 1500 бит пересылается 50 бит/с на L1 и/или L2 частотах.

1.2 Описание интерфейса

1.2.1 Свойства навигационного радиосигнала. Номиналы частот радиосигналов спутников ГЛОНАСС в диапазонах частот L1 и L2 вычисляются с помощью формул

$$f_{K1} = f_{01} + K\Delta f_1, \tag{1.1}$$

$$f_{K2} = f_{02} + K\Delta f_2, , \tag{1.2}$$

где K – порядок частоты несущей, тогда

$f_{01} = 1602$ (МГц); $\Delta f_1 = 562{,}5 \cdot 10^3$ (Гц) (L1 диапазон),

$f_{02} = 1246$ (МГц); $\Delta f_2 = 437{,}5 \cdot 10^3$ (Гц) (L2 диапазон).

Разделение по номерам K номиналов f_{K1} и f_{K2} частот показано в таблице 1.1. Разделение K между спутниками отражается в альманахе системы.

Для любого спутника частоты, на которых они работают, L1 и L2 поддиапазонов взаимосвязаны и образуются от общего стандарта частоты. С позиции человека, который находится на поверхности Земли, номинал частоты данного стандарта, равен 5,0 МГц. Для компенсирования релятивистских эффектов частота, которая сформирована бортовым стандартом, с позиции человека, который находится на НКА, смещена на условную величину $\Delta f/f = -43{,}58 \cdot 10^{-11}$ или $\Delta f = -2{,}176$ кГц, то есть, равняется 4,99999999782 МГц (значения для номинала траектории высоты спутника, равной 19 100 000 м). Связь между рабочими частотами L1 и L2, которые излучаются одним НКА равняется:

$$f_{K2} / f_{K1} = 7/9.$$

Действительные величины могут различаться с номинальными значениями f_K на относительную величину, не более $\pm 2 \cdot 10^{-11}$.

Таблица 1.1 – Разделение частот в L1 и L2 диапазонах

№ частоты	Номинал частоты в L1 диапазоне, МГц	№ частоты	Номинал частоты в L2 диапазоне, МГц
06	1605,3750	06	1248,6250
05	1604,8125	05	1248,1875
04	1604,2500	04	1247,7500
03	1603,6875	03	1247,3125
02	1603,1250	02	1246,8750
01	1602,5625	01	1246,4375
00	1602,0000	00	1246,0000
-01	1601,4375	-01	1245,5625
-02	1600,8650	-02	1245,1250
-03	1600,3125	-03	1244,6875
-04	1599,7500	-04	1244,2500
-05	1599,1875	-05	1243,8125
-06	1598,6250	-06	1243,3750
-07	1598,0625	-07	1242,9375

Согласно предложениям международной организации МСЭ в системе ГЛОНАСС продумано изменение частотного диапазона для СТ сигналов на порядки частот К=-8–6 с К = -1–24.

Среди значимых отличий GPS от ГЛОНАСС — методы передачи сигналов между разными КА. В GPS применяется кодовый метод разделения каналов (CDMA) благодаря этому передача радиосигналов навигации производится на L1 и L2 частотах, которые фиксированы. В ГЛОНАСС применятся частотное разделение (FDMA) подобные шуму радиосигналы навигации посылаются на парах несущих частот, которые не совпадают.

Связь L1 и L2 частот, которые излучаются каждым КА «ГЛОНАСС», равняется f2(n)/f1(n)=7/9. Радиосигналы на обеих частотах когерентны и образуются от общего эталона частоты $5 \cdot 10^6$ Гц. Разделение номеров несущих между КА отражается в альманахе системы.

Для гарантирования надлежащего функционирования штатной орбитальной группировки из 24 КА в системе «ГЛОНАСС» нужны 24 несущие частоты в каждом из двух рабочих диапазонов — верхнем и нижнем. При этом радиопередатчики навигационных КА излучают узкополосные радиосигналы в полосе частот 1602,0 — 1616,0 МГц и широкополосные радиосигналы в диапазонах 1597,4 — 1620,6 и 1241,3 — 1261,6 МГц.

Для двух систем корреляционные потери, которые обусловлены неидеальностью модулятора в передающем модуле спутника – 0,61 дБ и спектральным ограничением радиосигнала в передаточном модуле сигнала. Для СТ сигнала ими можно пренебречь. Корреляционные потери при приеме рассчитываются, как разность энергий двух сигналов: одного, который излучается передаточным модулем в полосе $20{,}46 \cdot 10^6$ Гц и второго, чья энергия считается идеальным приемным модулем в данном частотном интервале. Наихудшая величина данных потерь для L1 и L2 каналов возникает при условии, если несущая частота модулирована сложением кода P(Y) и сообщения навигации. Тогда корреляционные потери определяются нижеперечисленными элементами:

Плотность спектра шумов фаз несущей, которая немодулирована, такая, что схема слежения гарантирует не меньше 0,1 рад (среднеквадратическая величина) точности контроля за фазой несущей.

Фазовая квадратура. Необходимо, чтобы две составляющих L1 сигнала, модулированные двумя разными последовательностями битов (коды C/A либо P(Y) в сумме с данными) располагались в квадратуре фазы с погрешностью ±0,1 рад и сдвигом на 90° P относительно C/A. Если о фазе несущей P_i, то нулевым углом фазы называют условие при котором $P_i(t) = 0$. Устройство кодовой генерации P(Y) и C/A руководит фазами сигналов на выходе по принципу: если $P_i(t) = 1$, несущая P сдвигается на 180°, если $G_i(t) = 1$, P отстает от C/A на 90°; если $G_i(t) = 0$, то P опережает на 90°.

Уровень мощности неблагоприятных излучений от любого НКА за полосой частот, отведенной для навигационных сигналов ГЛОНАСС $(1598{,}1\ldots1605{,}4) \cdot 10^6$ Гц ± $0{,}51 \cdot 10^6$ Гц, $(1242{,}9\ldots1248{,}6) \cdot 10^6$ Гц ± $0{,}51 \cdot 10^6$ Гц ослаблен по отношению к мощности несущей, которая немодулирована, примерно на 41 дБ. Спутники «Глонасс-М» оборудованы фильтрами, которые уменьшают нежелательные излучения в полосе частот до уровня, который приведен в Рекомендации ITU–R RA.769 [1]:

– $(1610{,}7\ldots1613{,}9) \cdot 10^6$ (Гц);

– $(1660{,}1\ldots1670{,}2) \cdot 10^6$ (Гц).

Радиопомехи внутри системы обусловлены свойствами взаимокорреляции применяемого в навигационном сигнале кода ПС с принятием во внимание FDMA. Если принят сигнал с K=n, помехи, которые

создаются сигналом с K=n±1, ослабляются не меньше, чем на 48 дБ по отношению к мощности сигнала с К = n при месторасположении в зоне видимости НКА, которые излучают данные сигналы. Мощность радиосигнала, который принят от НКА Глонасс пользователем, на выходе антенны приема с КУ +2,5 дБ и наклонении местонахождения спутника больше 6° равняется не меньше -162 дБВт для частот L1/L2. Мощности сигналов, которые принимаеются пользователем от спутников GPS, приведены в таблице 1.2.

Таблица 1.2 – Мощность принимаемого радиосигнала GPS

Канал	P(Y)	C/A
L1	-163,0 дБ·Вт	-160,1 дБ·Вт
L2	-166,0 дБ·Вт	

Групповая задержка радиосигнала в бортовом оборудовании этого НКА содержит детерминированную и недетерминированную части и является задержкой между сигналом излучаемым (замеряется в фазовом модуле антенны передающей со спутника) и сигналом на выходе бортового стандарта частоты.

Детерминированная часть радиосигнала пользователю не важна, так как не имеет влияния на установление времени системы. Максимальная величина недетерминированной части в бортовом оборудовании спутников «Глонасс» и «Глонасс-М» не превышает ±7,5 нс и ±1,5 нс соответственно.

Разница задержек GPS сигналов L1 и L2 тоже состоит из двух составляющих: постоянной и случайной. Среднюю разность считают постоянной, она может быть, как положительным, так и отрицательным значением. Ее абсолютное значение не более 14,5 нс. Случайной же составляющей не более 2,5 нс.

Навигационный радиосигнал, который излучается любым НКА GPS и ГЛОНАСС, обладает эллиптической поляризацией. В секторе углов излучения ±18,9° (ГЛОНАСС) и ±14,3° (GPS) относительно оси симметрии ДН передающей антенны спутника коэффициент эллиптичности не меньше 0,68 в L1 и L2 диапазонах (ГЛОНАСС), а для спутников GPS на L1 частоте не меньше 1,21 дБ («Block II/IIA») и не меньше 1,82 дБ («Block IIR»), на L2 частоте не меньше 3,21 дБ («Block II/IIA») и не меньше 2,23 дБ («Block IIR»).

1.2.2 Время системы ГЛОНАСС. Все НКА ГЛОНАСС оборудованы стандартами частоты высокой стабильности, нестабильность которых в сутки равна $50 \cdot 10^{-14}$ для спутников «Глонасс» и $10 \cdot 10^{-14}$ «Глонасс-М». Погрешность, с которой синхронизируются шкалы времени на борту НКА «Глонасс» равняется 20 нс (среднеквадратическая величина), а «Глонасс-М» – 7 нс (среднеквадратическая величина). В роли шкалы времени ГЛОНАСС общепринята условная непрерывная шкала, сформированная на базе шкалы Центрального синхронизатора системы. Он снабжен водородными стандартами частоты, нестабильность которых в сутки равняется $2 \cdot 10^{-15}$.

Всемирный координированный стандарт времени UTC(SU) является опорной шкалой для ГЛОНАСС. Расхождение между данными шкалами не должно быть больше 1 мс. Один либо два раза в сутки на спутник отправляются рассчитанные ПКУ ГЛОНАСС поправки к шкале времени τ_c. При этом погрешность привязки данных шкал не должна быть больше 10^{-6} с. Шкала времени ГЛОНАСС регулируется единовременно с плановой коррекцией на целую величину секунд шкалы UTC. Оповещение о времени и величине коррекции UTC заранее (не менее чем за три месяца) передается пользователям различными способами. Сведения о корректировании UTC не содержатся в сообщениях спутников «Глонасс», в спутниках «Глонасс»-М запланировано предварительное оповещение пользователей о всех деталях секундного корректирования.

Согласно рекомендациям BIH/BIMP при корректировании UTC происходит единовременное корректирование и шкалы ГЛОНАСС с помощью изменения оцифровки порядка импульсов секунд на часах, находящихся на борту всех НКА «Глонасс». При чем временная метка строки кадра, которая посылается с периодичностью 2 секунды меняет местоположение для того, чтобы синхронизироваться с двухсекундной эпохой корректированной шкалы UTC. Это преобразование осуществляется по UTC в 00:00 с. В итоге периодического планового осуществления секундного корректирования между шкалами ГЛОНАСС и UTC(SU) не имеется сдвига на целое значение. Но имеется сдвиг на целое значение часов, который обусловлен своеобразием работы ПКУ

$$T_{ГЛ} = T_{UTC(SU)} + 180 мин . \qquad (1.3)$$

Для расчета эфемерид НКА применяются данные соотношения

$$T_{UTC(SU)} + 180 мин = t + \tau_c + \tau_n(t_b) - \gamma_n(t_b) \cdot (t - t_b) , \qquad (1.4)$$

где t – время, когда сигнал излучается, по шкале времени на борту (величины $\tau_c, \tau_n, \gamma_n, t_b$ приведены в пунктах 3.4 и 3.5).

Для перехода к шкалам времени UT1 или GPS НКА «Глонасс-М» посылают соответственно коэффициенты B_1 и B_2 или поправку τ_{GPS}. Верность определения поправки τ_{GPS} равняется не менее 30 нс (среднеквадратическая величина).

1.2.3 Система координат ГЛОНАСС и GPS. Эфемериды, которые посылаются НКА ГЛОНАСС, являются одной из составляющих оперативной информации и описывают место центра фаз передающей антенны этого НКА в ПЗ-90.02 системе координат, которая связанна с Землей. На земном центре масс расположено начало координат. Ось Z имеет направление на Условный земной полюс. Ось X имеет направление на место пересечения экваториальной плоскости и начала отсчета географической долготы. Ось Y

достраивает до правой систему координат [2, 3]. Следовательно, местоположение точки описывается тремя координатами. Геодезические константы и характеристики эллипсоида ПЗ-90.02 показаны в таблице 1.3.

Геодезическая широта B точки N есть угол между экваториальной плоскостью и перпендикуляром, проведенным к плоскости эллипсоида. Долгота L точки N есть угол между линией сечения поверхности плоскости, которая проходит через заданную точку и нулевого меридиана. Высота H – расстояние по нормали от плоскости эллипсоида до данной точки.

Таблица 1.3 – Геодезические константы и характеристики общего земного эллипсоида ПЗ-90.02

Параметр	Значение
Угловая скорость вращения Земли	$7{,}29\cdot10^{-5}$ рад/с
Гравитационный параметр Земли при учете атмосферы	$398\,600{,}4\cdot10^{9}$ м^3/с^2
Гравитационный параметр земной атмосферы	$0{,}348\cdot10^{9}$ м^3/с^2
Скорость света	299 792 458 м/с
Большая полуось эллипсоида	6 378 136 м
Коэффициент сжатия эллипсоида	1/298,25784
Гравитационное ускорение на экваторе Земли	978 032,84 мГал
Поправка к ускорению свободного падения на поверхности моря, которая обусловлена влиянием атмосферы Земли	0,87 мГал
Коэффициент второй геопотенциальной зональной гармоники (J_2)	$1082635{,}5\cdot10^{-10}$
Коэффициент второй геопотенциальной зональной гармоники (J_2)	$1082635{,}5\cdot10^{-10}$
Коэффициент четвертой геопотенциальной зональной гармоники (J_4)	$-2370{,}89\cdot10^{-9}$
Коэффициент шестой геопотенциальной зональной гармоники (J_6)	$6{,}08\cdot10^{-9}$
Коэффициент восьмой геопотенциальной зональной гармоники (J_8)	$1{,}40\cdot10^{-11}$
Нормальный потенциал на поверхности земного эллипсоида (U_0)	62636861,38 м^2/с^2

Примечание: в некоторых источниках при проведении баллистических вычислений применяются коэффициенты гармоник нормального поля тяготения Земли (ПЗ-90.02):

– $C_{20}^{0} = -4841650\cdot10^{-10}$;

– $C_{40}^{0} = 7903\cdot10^{-10}$.

Взаимосвязь между ними и величинами, данными в ИКД может быть описана следующими выражениями

$$J_2 = -(5)^{1/2} C_{20}^{0}, \quad (1.5)$$

$$J_4 = -3 C_{40}^{0}, \quad (1.6)$$

$$J_6 = -(11)^{1/2} C_{60}^{0}, \quad (1.7)$$

$$J_8 = -(7)^{1/2} C_{80}^{0}. \quad (1.8)$$

Помимо этого, при переходах от нормального к аномальному необходимо учитывать следующее:

$$\Delta C_{20} = C_{20} - C_{20}^{0}, \quad (1.9)$$

$$\Delta C_{40} = C_{40} - C_{40}^{0}. \quad (1.10)$$

В таблице 1.4 приведена сравнительная характеристика систем ГЛОНАСС и GPS.

Таблица 1.4 – Сравнение систем ГЛОНАСС и GPS

Показатель	ГЛОНАСС	GPS
1	2	3
Число КА в полной орбитальной группировке	24	24
Число орбитальных плоскостей	3	6
Число КА в каждой плоскости	8	4
Наклонение орбиты,^{0}	64,8	55
Высота орбиты, м	19130000	20200000
Время одного оборота спутника вокруг Земли	11 ч 16 мин 00 с	12 ч 00 мин 00 с
Система координат	ПЗ-90	WGS-84
Масса навигационного КА, кг	1450	1055
Мощность солнечных батарей, Вт	1250	450
Время функционирования спутника, лет	3	8
Ракетоносители космических аппаратов, выводящих их на орбиту	Протон	Дельта
Количество спутников, запускаемых за один раз	3	1
Космодром	Байконур (РК)	Мыс Канаверал
Эталонная шкала времени	UTC (SU)	UTC (NO)

Продолжение таблицы 1.4

1	2	3
Метод доступа	FDMA	CDMA
Наклонение орбиты,^{0}	64,8	55
Высота орбиты, км	19 130	20 180
Несущая частота:		
L1	1598,0625 - 1604,25	1575,42
L2	7/9 L1	60/77 L1
Поляризация	Правосторонняя	Правосторонняя
Тип псевдошумовой последовательности	m-последовательность	код Голда
Число элементов кода:		
C/A	511	1023
P	51 1000	2,35x1014
Скорость кодирования, Мбит/с:		
C/A	0,511	1,023
P	5,11	10,24
Величина помех, действующих внутри системы, дБ	-50	-22,6
Структура навигационного сообщения:		
Скорость передачи, бит/с	50	50
Вид модуляции	BPSK (Манчестер)	BPSK NRZ
Длина суперкадра, мин	2,5 (5 кадров)	12,5 (25 кадров)
Длина кадра, с	30 (15 строк)	30 (5 строк)
Длина строки, с	2	6

2 Состояние и направления развития спутниковой навигации

В данный момент наблюдается стремительный технический рост спутниковых технологий навигации и геодезии, который связан с предоставлением права неограниченного и бесплатного пользования спутниковыми навигационными системами GPS и ГЛОНАСС международному сообществу странами-владельцами. По материалам зарубежных экспертов, в настоящее время рост объема рынка, ежегодно равняется 25% по отношению к предыдущему году.

В настоящее время можно утверждать, что в РФ идет процесс поэтапного внедрения и эксплуатации спутниковых технологий в разных отраслях хозяйства, техники, обороны, науки и т.д. Отдельные ведомства, организации и предприятия имеют необходимую аппаратуру и технологии точного позиционирования и применяют их для решения своих частных задач.

Элементы космических систем навигации, как и любой другой сложной технической системы, работают несовершенно. Поэтому, получаемые

пользователем в навигационном решении, значения координат и скорости отличаются от фактических. На их верность и точность имеют влияние факторы:

– геометрическое положение необходимых спутников;

– точность шкал времени на борту спутника;

– погрешности эфемерид спутников;

– погрешности, возникающие при распространении сигналов в ионосфере и тропосфере;

– погрешности оборудования НКА;

– искажение данных, которые передаются со спутника намеренно (ограниченный доступ GPS).

2.1 Функциональные дополнения к системам спутниковой навигации

Дифференциальный режим навигации – важнейшее направление улучшения точности определений в навигации. Суть данного режима в устранении отдельных погрешностей системного поля навигации, которые весьма коррелированы в местных зонах (до 2000000 м).

Данные погрешности вызваны тремя факторами:

– нарушением синхронизации шкал на борту спутника;

– воздействием эфемеридных погрешностей спутника;

– передачей сигналов через ионосферу и тропосферу.

Приобретя с помощью аппаратуры или путем расчета значения данных систематических погрешностей (дифференциальных поправок), в аппаратуре пользователя можно реализовать компенсирование важнейших систематических погрешностей определений с помощью их учитывания в алгоритмах по обработке данных. Комплекс аппаратных и программных средств, который предназначен для обеспечения более достоверного определения на базе СРНС сигнала, именуют функциональным дополнением.

2.2 Функции функциональных дополнений

Главные функции функциональных дополнений:

– обеспечение необходимой целостности спутниковых систем радионавигации;

– обеспечение необходимой доступности СРНС;

– обеспечение нужной непрерывности навигационных определений;

– улучшение точности навигации до требуемой.

Данные задачи решаются применением методов:

– введения станций, контролирующих целостность и канала, передающего информацию о ней (GIC – GPS Integrity Channel) для улучшения точности;

– применения дифференциального рабочего режима для более точного определения навигационных параметров;

– применения дополнительного количества геостационарных спутников для улучшения доступности.

Улучшение целостности предполагает присутствие сети контролирующих целостность станций, которые в свою очередь будут обеспечивать непрерывный мониторинг системной работоспособности и центра, обрабатывающего все полученные от данных станций сведений и основываясь на них формирующего сведения о целостности для дальнейшей передачи их пользователям.

Как роли каналов передачи сведений о целостности могут быть использованы каналы связи через геостационарные спутники. Канал целостности является узкополосным. Если же необходимо передать нужную информацию в канале целостности, подобной сигналам GPS/ГЛОНАСС, он может быть широкополосный. В данном случае осуществляется одновременно передача информации и навигационные измерения. Таким образом, обеспечивается запасное измерение дальности на случай отказов спутников и передача предупреждающих сигналов, что дает возможность повысить целостность и доступность системы благодаря дополнительным радионавигационным сигналам. Также возможно осуществить широкозонный дифференциальный режим благодаря передаче дифференциальных поправок.

2.3 Типы функциональных дополнений ГНСС

Существует три разновидности функциональных дополнений, которые различаются в зависимости от места размещения их составных частей и способов решения поставленных задач:

– автономные, они реализуются реализуемые на бортах надводных кораблей или воздушных судов – Aircraft-based Augmentations Systems (ABAS), применяющие автономные способы контролирования целостности RAIM & AAIM;

– наземные – Ground-based Augmentations Systems (GBAS) (DGPS, LAAS, GRAS);

– космические – Space-based Augmentation Systems SBAS (WAAS, EGNOS, MSAS).

2.3.1 Автономные функциональные дополнения ABAS. ABAS используют находящуюся на борту техническую аппаратуру для мониторинга целостности, улучшения надежности и более точных навигационных определений.

Бортовое дополнение ABAS есть усовершенствование системы автономного мониторинга целостности в навигационном приемнике, называемом RAIM, путем применения данных других бортовых систем пользователя (самолета, морского судна). В таком случае вся имеющая на борту навигационная информация обеспечивает необходимые параметры для навигационного определения.

Для достижения этой цели используются различные методы, из них важнейшими являются:

а) применение алгоритмов автономного мониторинга целостности (RAIM) в НАП, а именно:

1) алгоритмов, обнаруживающих отказы;

2) алгоритмов, исключающих отказавшие навигационные спутники;

б) применение способов мониторинга целостности на борту AAIM (Airborne Autonomous Integrity Monitoring);

в) создание комплекса с навигационными датчиками, которые установлены на объекте. Среди них:

– альтиметр;

– часы высокой точности;

– гироскопические датчики;

– магнитный компас;

– инерциальная система навигации;

– датчики и средства навигации, находящиеся на борту;

г) создание комплекса с информацией других систем навигации:

1) одновременное применение в НАП GPS−ГЛОНАСС сигналов;

2) одновременное применение в НАП GPS−Galileo−ГЛОНАСС сигналов.

Процедуры RAIM дают возможность определять спутники, данные с которых невозможно применять при расчетах навигационных характеристик, но при условии достаточного их количества (не меньше 7 наблюдаемых спутников). При недостаточном их количестве процедура RAIM не может отбраковать спутники, тогда нужно дополнительно применять сведения от других измерительных систем и средств навигации, находящихся на борту.

Построение функциональных дополнений космических и наземных осуществляется посредством привлечения вспомогательных космических и наземных систем и средств. Специализированные ККС размещаются на Земле и рассчитывают корректирующие поправки для повышения точности навигации и контроля целостности, а также улучшения надежности навигационного определения (доступности). Передача на борт пользователя полученных дополнительных данных осуществляется передающими станциями, находящимися на Земле (для GBAS) или при помощи, находящихся на геостационарных орбитах, специальных спутников связи (для SBAS).

Главное отличие SBAS и GBAS заключается в методах приема/передачи корректирующей информации и в радиусе действия систем. GBAS – локальная система, которая функционирует в зоне действия до 200000-250000 м, а SBAS – континентальная система с большим радиусом покрытия в несколько тысяч километров.

2.3.2 Космические функциональные дополнения SBAS. SBAS включает в себя наземный и космический сегменты.

Сеть ШКС – основа MSAS, WAAS, EGNOS. Данные от ШКС передаются на широкозонные главные станции (ШГС) для совместной обработки для формирования обобщенных поправок и сигналов целостности. Радиус рабочей зоны SBAS около 5000…6000 км. Сигналы целостности и корректирующие поправки, выработанные на ШГС, посылаются через наземные станции на геостационарный КА вроде «Инмарсат», «Артемис» или MCAT для дальнейшей ретрансляции пользователям.

Также ГСА применяются в роли дополнительных точек навигации для дополнительных дальномерных измерений. Методы анализа разностей между измеренными и спрогнозированными величинами ПД и методы, которые используют избыточность измерений являются главными методами контроля целостности.

Все типы функциональных дополнений дополняют друг друга для обеспечения выполнения требований всех пользователей по точности, целостности, доступности навигационного обеспечения.

2.3.3 Наземные функциональные дополнения GBAS. На рисунке 2.1 представлена обобщенная структурная схема построения наземного функционального дополнения. Составные части наземного дополнения GBAS:

– контрольно-корректирующая станция;

– станция мониторинга дифференциальных поправок;

– станция передачи дифференциальных поправок и сигналов предупреждения.

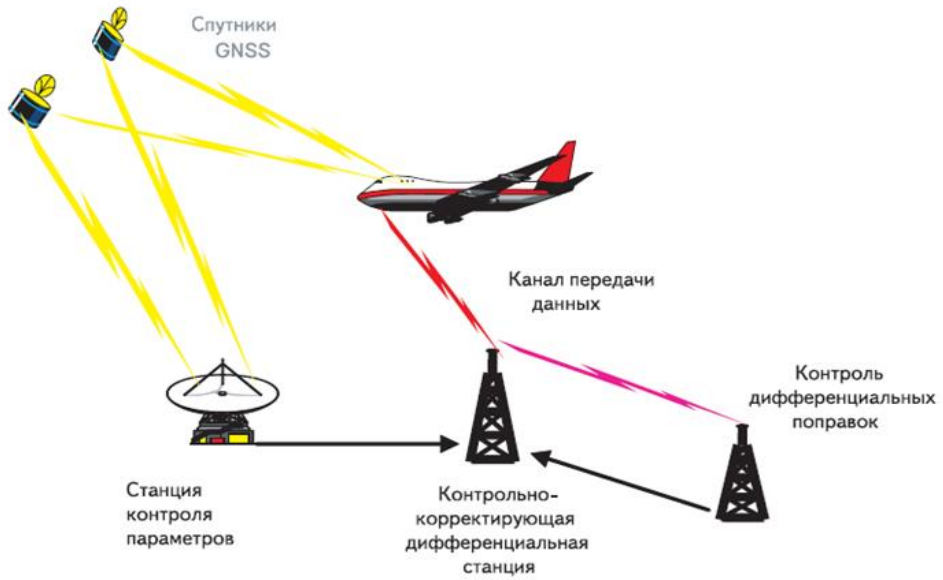

Рисунок 2.1 – Обобщенная структурная схема GBAS

Контрольно-корректирующая станция обеспечивает контроль целостности навигационных сигналов и вычисление дифференциальной

корректирующей информации для улучшения точности. По необходимости в целях контроля целостности могут привлекаться специальные станции контроля, которые мониторят качество излучаемых навигационными спутниками радионавигационных сигналов и навигационного поля и при возникновении отказов или неисправностей формируют признак отказа соответствующего спутника.

Станция мониторинга дифференциальных поправок контролирует их качество. Обобщенные данные формируются в одном формате и передаются на борт по одному из доступных каналов связи (УКВ-связь или другие). К наземным функциональным дополнениям относятся локальные и региональные дифференциальные подсистемы различного назначения – морские, авиационные, геодезические, специальные.

Локальные ДПС имеют максимальный радиус действия от контрольно-корректирующей станции или передатчика линии передачи данных (ЛПД) – до 200-250 км. В состав ЛДПС входят одна контрольно-корректирующая станция (есть варианты с несколькими ККС), оборудования контроля и управления (в том числе мониторинга целостности), и средства передачи данных.

Для обеспечения высокой точности навигации в самолетах на этапах захода на посадку и самой посадки в США разрабатываются и внедряются авиационные LAAS, которые устанавливаются на каждом аэродроме. В виде устройства передачи информации на борт самолета в LAAS обычно применяются псевдоспутники, которые излучают GPS-подобный сигнал. При чем, кроме передачи дифференциальных поправок и сигналов предупреждения, обеспечивается дополнительный канал измерения дальности относительно наземного пункта.

Нахождение GBAS в зоне аэродрома расширяется ее функции. Становится возможным реализовать контроль и управление всеми подвижными объектами, которые находятся в зоне аэродрома. В этих целях аэродромные транспортные средства оборудуются НАП и по радиоканалу передают координаты своего местонахождения диспетчеру, где они высвечиваются на электронной карте. Диспетчер, в свою очередь, имея картину нахождения и передвижения по аэродрому транспортных средств и воздушных судов может реализовать ими управление, следовательно, улучшить безопасность.

Региональные ДПС используются для навигационного оснащения некоторых районов континента, моря, океана. Диаметр рабочей зоны может быть от 400 до 2000 км и более. РДПС включают в себя одну либо несколько ККС, а также устройства передачи корректирующей информации и сигналов целостности. Эти данные вырабатываются на главные станции или ККС.

2.4 Характеристики существующих функциональных дополнений

Локальные функциональные дополнения. Дифференциальные подсистемы являются базой локальных функциональных дополнений. Они

решают все задачи, которые связанны с контролем целостности и улучшением точности. Имеется три вида ЛДПС:

– морские ЛДПС для осуществления мореплавания в проливных зонах, узких местах и акваториях портов согласно требованиям ИМО;

– авиационные ЛДПС для осуществления захода на посадку и посадки ВС по категориям ИКАО;

– ЛДПС для геодезических, землемерных и других специальных работ.

Рассмотрим ЛДПС авиационные и для геодезических и специальных работ.

Авиационные ЛДПС. В наше время существует несколько видов авиационных ЛДПС посадки (спутниковых систем посадки). Данные системы различаются некоторыми достоинствами, среди них:

– небольшой комплекс аппаратуры, который дает возможность уменьшить издержки при операциях в сложных метеоусловиях;

– при 1-й и потенциально более сложных категориях обеспечивают условия для работы для начальных участков всех ВПП со стороны захода на посадку, находящихся в радиусе до 55 км, что значит, что эта система более эффективна экономически, чем другие средства, предназначенные для одной ВПП;

– дают возможность оснастить местные авиалинии;

– характеризуются гибкостью, которая позволяет реализовать маршруты захода с переменно геометрией, минимально уменьшает время полета и борется с помехами;

– в системах осуществляются современные принципы проектирования, которые обеспечивают мониторинг состояния оборудования и ускорение ремонтных работ.

Как пример авиационной ЛДПС приведем системы ЛККС-А-2000 фирмы НППФ «СПЕКТР» (Россия), которые работают по GPS, ГЛОНАСС и ГАЛИЛЕО. Общие характеристики системы ЛККС-А-2000 приведены в таблице 2.1. Оборудование ЛККС-А-2000 сертифицировано согласно со спецкатегорией I, система может удовлетворить требованиям I, II и IIIA категорий ИКАО. Радиус действия данных систем до 250 км. Система содержит ККС с монитором (стандарт RTCA/DO-217) и общий монитор для мониторинга и управления. Также она имеет отказоустойчивую конструкцию и сертифицирована для критических ситуаций по соответствующим стандартам. Программное обеспечение сертифицировано в соответствии с требованиями RTCA/DO-178B. В целях удовлетворения строгим требованиям к посадке самолетов, ЛДПС включает в себя монитор целостности с функциями:

– нахождение и устранение сигналов и ошибок, которые влияют на каналы измерения;

– оценка дифференциальных ошибок установления дальности пользователя с помощью сопоставления некоррелированных данных приемников;

– нахождение и устранение перескоков фазы при наблюдении за фазой несущей;

– мониторинг посылаемых сообщений перед и после излучения в эфир.

Таблица 2.1 – Общие характеристики системы ЛККС-А-2000

Наименование характеристики	Единица измерения	Норматив
1	2	3
Класс точности формирования дифференциальных поправок (GAD)		B2
Используемые системы GNSS		ГЛОНАСС, GPS (ГАЛИЛЕО)
Формат выдаваемых данных – SARPS ICAO; – RTCM – SC 104 версия 2, RTCA/DO-217 (опция)		 Да Да
Период обновления и выдачи данных: – дифференциальные данные; – данные опорной станции; – идентификатор ЛККС; – FAS; – прогноз готовности спутников.	 с с с с с	 ½ 1 15 15 15
Рабочая частота передачи данных по радиоканалу	МГц	108,00…117.995
Стабильность несущей частоты	%	± 0,0002
Вид модуляции		D8PSK
Мощность ПРД VDB	Вт	50
Время готовности к работе	с	<160
Зона действия для посадки: – в горизонтальной плоскости, не менее; – в вертикальной плоскости, не менее. Зона действия для RNAV и АЗН	 км градус	 37 7 Прямая видимость УКВ
Напряженность поля в пределах зоны действия	МкВ/м	не менее 215
Целостность с функцией SQM		$1\text{-}2\cdot10^{-7}$
Время предупреждения	с	<6
Непрерывность		$1\text{-}8\cdot10^{-6}$ в любые 15 с
Готовность		0,99-0,9999

Продолжение таблицы 2.1

1	2	3
Целостность с функцией SQM		$1\text{-}2\cdot10^{-7}$
Срабатывание системы автоматического контроля: – при уменьшении мощности излучения; – при увеличении погрешности определения координат: – по горизонтали – по вертикали	 % м м	 80 10 10
Параметры FAS (передача блока посадочных данных)		да
Прогнозирование готовности дальномерного источника		да
Электропитание	В, Гц	380/220±10%, 50±0.1
Потребляемая мощность	Вт	900
Рабочая температура	Град., С°	ЛККС от +5 до +50 АФУ от -50 до +50

Системы SLS-2000, которые разработаны Honeywell и Pelorus, также являются яркими примерами. Состав аппаратуры обеих систем одинаков с составом ЛККС-А-2000. Система SLS-2000 – это отказоустойчивая конструкция, продолжающая исполнять свои функции при отказах отдельных блоков в тот момент, когда могут выполнятся мероприятия по ремонту аппаратуры. В таблице 2.2 показаны характеристики данных систем.

Таблица 2.2 – Требования к точному заходу на посадку и их реализация

Параметры	Стандарт RTCA/DO-217	ЛККС-А-2000	SLS-2000
1	2	3	4
Точность (СКО) определения	1,1	менее 0,9	Менее 0,9
Целостность	$3\cdot10^{-8}$/заход	$1\text{-}2\cdot10^{-7}$/заход	$1\cdot10^{-8}$/заход
Непрерывность	$3\cdot10^{-5}$/заход	$1\text{-}2\cdot10^{-6}$ (15 с)	$1{,}15\cdot10^{-7}$/заход
Эксплуатационная доступность, %	98	99%	99
Время задержки сигнала оповещения, с	< 3,0	< 1,0	< 1,0
Дальность действия ЛПД, км	> 37	200 … 250 км	37…55
Периодичность сигналов коррекций, с	3,0	0,5	0,5

Продолжение таблицы 2.2

1	2	3	4
Вид модуляции	Фазовая манипуляция D8PSK (RTCA/DO-217)		

ЛККС-А-2000 согласовано. работает с бортовым оборудованием спутниковой навигации (БМС) и аппаратурой приема дифференциальных и посадочных данных (АПДД) (см. рисунок 2.2). БМС выполняет полеты по. правилам зональной навигации B-RNAV и P-RNAV при действии требований RNV. Новейшие технологии конструирования дали возможность в одном корпусе БМС аппаратно. интегрировать индикатор с цветным многофункциональным экраном, вычислительный модуль и универсальные модули информационного. обмена для согласования с системами пилотажно-навигационного. комплекса воздушного. судна. БМС действует по. сигналам ГЛОНАСС, GPS, ГАЛИЛЕО. и сигналам спутниковых функциональных дополнений GNSS – SBAS (WAAS, EGNOS, MSAS). Для поддержки заходов на посадку по. I категории ИКАО. в БМС применяются данные от оборудования приема и преобразования дифференциальных данных (АПДД), которые получены от наземных систем функциональных дополнений GNSS – GBAS (ЛККС) в формате SARPs ICAO. БМС обеспечивает:

– поддержание всех функций оборудования зональной навигации согласно. «Руководству по. требуемым навигационным характеристикам» (DOC9613 ИКАО);

– решение задач навигации и управления полетом, а также выдачу цифровых и аналоговых сигналов управления;

– управление бортовыми навигационными системами типа VOR, DME.

АПДД работает на частотах передачи дифференциальных поправок 108,025 – 117,950 МГц, при чем чувствительность приёмника не менее - 87 дБм. Вероятность неверного. приема сообщения АПДД <1 на 1000 сообщений и энергопотребление не превышает 30 Вт. Системы АПДД соответствуют нормативным документам ИКАО, АП ARINC-429 и имеют сертификат годности №СГКИ-034-226-АПДД

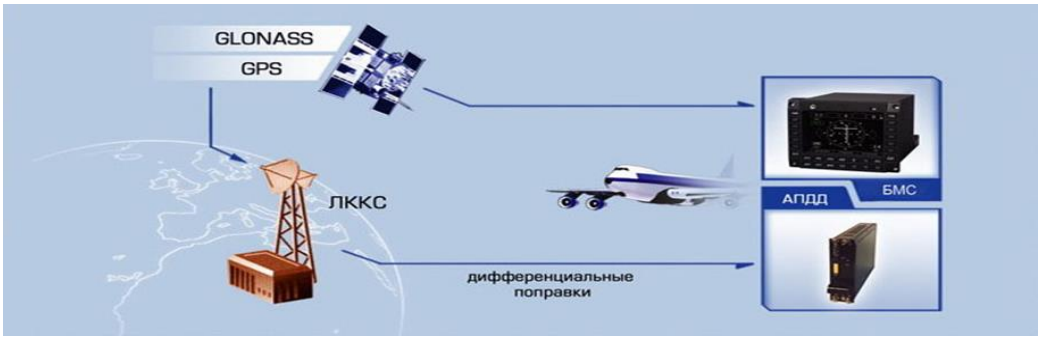

Рисунок 2.2 – Схема функционального. дополнения GBAS с бортовым оборудованием

Геодезические и специальные ЛДПС. Системы геодезического обеспечения с дальностью не больше 50 км и сантиметровой-дециметровой точностью составляют важный и имеющий большие перспективы класс ЛДПС. Обычно их применение допускает основательную обработку измерений после их проведения. Также данные системы в обязательном порядке реализуют алгоритмы слежения за фазой несущей частоты сигнала. При этом условия непрерывности, доступности и целостности для них могут быть очень ослаблены. Имеются примеры построения таких геодезических сетей. Получены результаты применения первой дифференциальной сети в Германии, расположенной на юге Нижней Саксонии. Она имеет 5 опорных станций: в Ганновере, Брауншвейге, Геттингене, Алфельде и Клаустхал-Целлерфельде (главная станция). Корректирующие поправки высчитываются на главной станции и передаются согласно стандарту RTCM SC-104 v.2.1. Применяется метод дифференциальной коррекции в реальном времени. Точность привязки от нескольких сантиметров до нескольких миллиметров. Имеется сеть в Нидерландах, которая состоит из пяти опорных и одной главной станции, объединенных каналами передачи данных. Определить место пользователь можно при помощи коррекций от виртуальной станции, местонахождение которой выбирается по желанию. Также развернуты геодезические ЛДПС во Франции, Дании, Швеции. Системы применяются в картографировании, землеустройстве, проведении строительных и изыскательных работ. Возможно и довольно специфичное использование ЛДПС СРНС, к примеру, для контроля за перемещением автомашин инкассаторов банка, такси в Гетеборге и т. п.

Дифференциальные сети с передачей поправок по каналам УКВ ЧМ радиостанций

Одним из популярных методов передачи дифференциальных коррекций является применение системы передачи данных по радиосигналам станций FM-вещания совместно со звуковым сигналом (Radio Data System— RDS). RDS – это стандарт, который был разработан в Европе для передачи данных на частотах радио ЧМ. Данная система используется в Европе, США, ЮАР. При этом система, принятая в США (RBDS — Radio Broadcasting Data System), отличается от европейской, хотя частично совместима. Начато развертывание сетей RDS в Австралии, Южной Корее и Китае. В Японии используется другая система радиоданных, которая была разработана японцами для внутреннего применения, так как в RDS предусмотрен только латинский алфавит.

Первоначально система предназначалась для передачи вспомогательных данных радиослушателям-автомобилистам. Затем имеющийся цифровой канал начали применять для радиопейджинга. RDS работает на основе уплотнения радиовещательного сигнала в диапазоне 88...108 МГц с пилот-тоном и организации канала передачи радиоданных. Система RDS работает на основе европейского стандарта Cenelec EN50067 согласно техническим условиям 3244 EBU и является каналом передачи

данных со скоростью 1187,5 бит/с, сформированным на поднесущей 57 кГц (3-я гармоника пилот-тона). Стандартом предусмотрена передача нескольких типов данных: названия радиопрограммы; идентификационного кода, который содержит информацию о принадлежности и нахождении радиостанции; списка альтернативных частот радиостанции, которая работает в сети с двумя и более передатчиками: типа передаваемой в данное время радиопрограммы (новости, спорт, сводка погоды, джаз, поп-музыка, рок и т.п.) и др. Одновременно с этим осуществляется передача радиотекста, данных, технологических данных и информации, а также радиопейджинга. Также стандарт предусматривает не менее 40% резервных групп (всего их 16) и подгрупп под общим названием Open Data Application, на базе которых потребители имеют возможность сами создавать разные службы и находить другие способы использования.

3 Технические требования, предъявляемые к наземным радионавигационным функциональным дополнениям

3.1 Технические характеристики и функции GBAS

GBAS совместно с одним или парой других элементов GNSS и приемником без отказов GNSS соответствует требованиям к характеристикам систем точности, непрерывности, эксплуатационной готовности и целостности для намечаемой операции.

Система GBAS обеспечивает все виды захода на посадку, посадки, вылеты и наземные операции и способна обеспечить операции на маршруте и в районе аэродрома. Система GRAS предназначена для обеспечения операций на маршруте, в районе аэродрома, неверных заходов на посадку, вылетов и заходов на посадку с вертикальным наведением. Приведенные ниже Стандарты и Рекомендуемая практика (SARPS) были созданы в целях обеспечения точного захода на посадку по категории I или с вертикальным наведением и определения месторасположения с применением системы GBAS. Для возможностей взаимодействия и эффективного использования спектра считается, что для всех операций передаются одни и те же сведения.

Функции GBAS:

– обеспечивать локальные поправки к псевдодальности;

– обеспечивать сведения о системе GBAS;

– обеспечивать сведения для крайнего участка точного захода на посадку;

– обеспечивать прогнозирование сведений о подготовленности дальномерного источника к эксплуатации;

– обеспечивать мониторинг целостности источников дальномерных измерений GNSS.

Для наземной дальномерной функции будут разработаны дополнительные SARPS GBAS.

Зона действия GBAS для обеспечения всех точных заходов на посадку по категории I или с вертикальным наведением, помимо моментов присутствия топографических особенностей и соответствующих эксплуатационных требований, следующая:

– в боковом направлении: начиная с 140 м (450 фут) с каждой стороны от посадочной/фиктивной точки порога ВПП (LTP/FTP) и расширяющейся под углом ±35° с каждой стороны маршрута крайнего этапа захода на посадку до 28 км (15 м. миль) и под углом ±10° с каждой стороны траектории до 37 км (20 м. миль);

– в вертикальной плоскости: в пределах боковой зоны выше 7° или 1,75 средней величины угла глиссады (GPA) над горизонтом с началом координат в точке захвата глиссады (GPIP) и 0,45 GPA выше горизонта или менее вплоть до 0,30 GPA, такого, что требуется, чтобы поддержать планируемую процедуру захвата усредненной глиссады. Эта зона действия применяется между 30 м (100 фут) и 3000 м (10 000 фут) относительной высоты точки приземления (HAT).

Радиопередача информации для точного захода на посадку по категории I должна распространяться вниз до 3,7 м (12 фут) над поверхностью ВПП, также для поддержки намечаемых использований она должна быть, при необходимости, всенаправленной.

Радиочастоты, которые используются для передачи информации, выбираются полосе от 108 до 117,975 МГц. 108,025 МГц – самая низкая выделенная частота, самая высокая – 117,950 МГц. Разделение между ними (разделение каналов) – 25 кГц.

Метод доступа. Применяется метод многостанционного доступа с разделением каналов по времени (TDMA) с фиксированной структурой кадра. Передаваемым данным присваиваются от 1 до 8 временных интервалов (слотов). Два слота присваиваются номинально. Некоторые средства GBAS, использующие несколько передающих антенн VDB для улучшения охвата ОВЧ-передач информации (VDB), могут требовать присвоения более двух временных интервалов. Некоторые радиовещательные станции GBAS в системе GRAS применяют один временной интервал.

Сведения GBAS передаются в виде трехразрядных символов, которые модулируют излучаемую частоту с помощью D8PSK со скоростью 10 500 символов в секунду. Напряженность поля и поляризация РЧ-сигнала при радиовещательной передаче данных

GBAS способна обеспечивать ОВЧ-радиовещательные передачи данных с горизонтальной (GBAS/H) или эллиптической (GBAS/E) поляризацией, включающей элементы горизонтальной (H_{POL}) и вертикальной поляризации (V_{POL}). Воздушные суда, которые используют компоненту V_{POL}, не смогут осуществлять операции с применением аппаратуры GBAS/H.

GBAS/H. Передается горизонтально-поляризованный сигнал. Эффективная излучаемая мощность (ERP) в зоне действия GBAS обеспечивает минимальную напряженность горизонтальной составляющей

поляризованного сигнала 215 мкВ/м (–99 дБВт/м^2) и максимальную напряженность поля 0,350 В/м (–35 дБВт/м^2). Напряженность поля есть средняя за период времени синхронизации и решения неоднозначности пакета. Радиочастотное фазовое смещение между H_{POL} и любыми компонентами V_{POL} принимается таким, чтобы минимальный уровень мощности сигнала достигался для потребителей H_{POL} в любой точке зоны действия.

GBAS/E. По мере возможности следует передавать эллиптически-поляризованный сигнал. При передаче эллиптически-поляризованного сигнала горизонтальная составляющая поляризованного сигнала соответствует требованиям GBAS/H, а эффективная излучаемая мощность (ERP) в зоне действия GBAS обеспечивает вертикальную составляющую поляризованного сигнала с минимальной напряженностью поля 136 мкВ/м (–103 дБВт/м^2) и максимальную напряженность поля 0,221 В/м (–39 дБВт/м^2).

Напряженность поля есть средняя за период времени синхронизации и решения неоднозначности пакета. Радиочастотное фазовое смещение между компонентами H_{POL} и V_{POL} принимается таким, чтобы минимальный уровень мощности сигнала достигался для потребителей H_{POL} и V_{POL} в любой точке зоны действия.

Минимальное и максимальное значения напряженности поля согласуются с минимальной чувствительностью приемника –87 дБм и минимальным расстоянием от антенны передатчика 200 м для зоны действия 43 км.

Мощность, излучаемая на соседних каналах. При всех эксплуатационных условиях уровень мощности во время передачи, который измерен в полосе частот 25 кГц с центром на i-ом соседнем канале, не превышает величин, показанных в таблице 3.1.

Таблица 3.1 – Мощность, излучаемая на соседних каналах

Канал	Относительная мощность	Максимальная мощность
1-й соседний	-40 дБиК	12 дБм
2-й соседний	-65 дБиК	-13 дБм
4-й соседний	-74 дБиК	-22 дБм
8-й соседний	-88,5 дБиК	-36,5 дБм
16-й соседний	-101,5 дБиК	-49,5 дБм
32-й соседний	-105 дБиК	-53 дБм
64-й соседний	-113 дБиК	-61 дБм
76-й соседний	-115 дБиК	-63 дБм

Нежелательные излучения, которые включают побочные и внеполосные излучения, соответствуют уровням, показанным в таблице 3.2. Полная мощность любой гармоники VDB или дискретного сигнала не превышает -53 дБм.

Таблица 3.2 – Нежелательные излучения при передачах GBAS

Частота	Относительный уровень нежелательного излучения	Максимальный уровень нежелательного излучения
9 – 150 кГц	-93 дБиК	-55 дБм/1 кГц
150 кГц – 30 МГц	-103 дБиК	-55 дБм/10 кГц
30 – 106,125 МГц	-115 дБиК	-57 дБм/100 кГц
106,425 МГц	-113 дБиК	-55 дБм/100 кГц
107,225 МГц	-105 дБиК	-47 дБм/100 кГц
107,625 МГц	-101,5 дБиК	-53,5 дБм/10 кГц
107,825 МГц	-88,5 дБиК	-40,5 дБм/10 кГц
107,925 МГц	-74 дБиК	-36 дБм/1 кГц
107,9625 МГц	-71 дБиК	-33 дБм/1 кГц
107,975 МГц	-65 дБиК	-27 дБм/1 кГц
118,000 МГц	-65 дБиК	-27 дБм/1 кГц
118,000 МГц	-71 дБиК	-33 дБм/1 кГц
118,0125 МГц	-74 дБиК	-36 дБм/1 кГц
118,050 МГц	-88,5 дБиК	-40,5 дБм/10 кГц
118,150 МГц	-101,5 дБиК	-53,5 дБм/10 кГц
118,350 МГц	-105 дБиК	-47 дБм/100 кГц
118,750 МГц	-113 дБиК	-55 дБм/100 кГц
119,550 МГц	-115 дБиК	-57 дБм/100 кГц
1 – 1,7 ГГц	-115 дБиК	-47 дБм/1 МГц

Навигационные сведения, которые передаются GBAS, содержат в себе информацию:

– поправки к псевдодальности, сведения по отсчету времени и целостности;

– информацию по GBAS;

– сведения для крайнего участка захода на посадку при обеспечении точного захода на посадку;

– сведения о прогнозируемой подготовленности дальномерного источника к эксплуатации.

Помехоустойчивость. МСЭ классифицирует GPS и ГЛОНАСС, которые работают в полосе частот 1559–1610 МГц, как системы, которые обеспечивают спутниковое радионавигационное обслуживание (RNSS) и радионавигационное обслуживание в сфере аэронавигации (ARNS), и для RNSS предоставлен специальный статус защиты спектра.

Для достижения характеристик, которые необходимы для обеспечения точного захода на посадку, поддерживаемым GNSS и его функциональными дополнениями, RNSS/ARNS должна быть единственным глобальным распределением в полосе 1559–1610 МГц, а излучения систем в этой и

соседних частотных полосах должны строго контролироваться в соответствии с национальными и/или международными правилами.

Бортовая аппаратура GNSS, которая использует базу данных, обеспечивает средства для:

– обновления электронной навигационной базы данных;

– определения, взаимодействующих данных аэронавигационной базы данных управления и контроля аэронавигационной информацией (AIRAC).

3.2 Мировая практика применения ЛККС

На территории России уже 20 аэропортов оснащено системой GBAS и планируется оснащение ещё 60-ти аэропортов. Применение наземных функциональных дополнений очень эффективно использует ресурсы и в сравнении с системой ILS экономически выгоднее.

Опираясь на данные с локально-корректирующих станций аэропорта г.Самара видно, что в течении суток количество видимых спутников системы ГЛОНАСС в самом худшем случае равно 5-ти, системы GPS порядка 8-ми (см. рисунок 3.1).

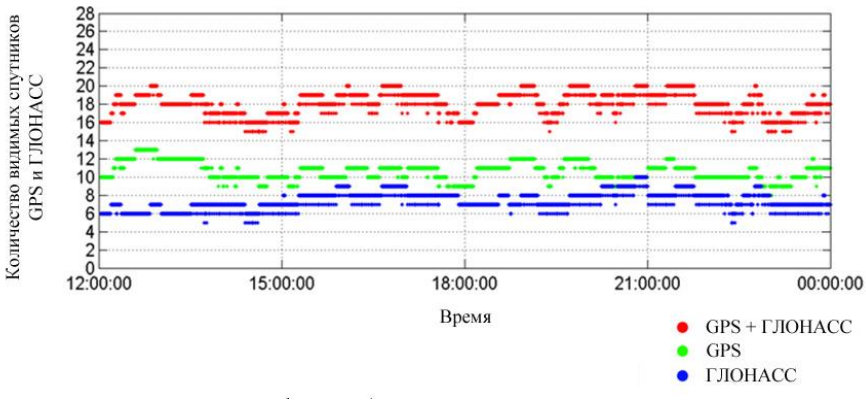

Рисунок 3.1 – График количества видимых спутников ЛККС-А-2000 г. Самара

Для определения точного месторасположения объекта достаточно 4 видимых космических аппарата, практика показывает, что это обеспечивается в любой момент времени.

4 Стратегия внедрения и применения средств обеспечения захода на посадку

Из соображений безопасности, эффективности и гибкости на осуществление всепогодных полетов имеет влияние множество факторов. Для того чтобы получить максимальную пользу от технического прогресса эволюция новой техники требует гибкого подхода к концепции всепогодных полетов. Для создания подобной гибкости стратегия позволяет при помощи выявления ее целей и исходных принципов внедрять в нее новые технические

разработки или идеи. Стратегия не предусматривает мгновенного перехода на одну общепринятую систему или выбора систем обеспечения посадок и заходов на них. Стратегией предполагается использование невизуальных средств посадки и захода на нее с вертикальным наведением (APV) и точного захода на посадку и посадки.

Стратегия должна:

– сохранять имеющийся уровень безопасности всепогодных полетов;

– обеспечивать нынешний уровень либо запланированный более высокий уровень обслуживания;

– обеспечивать взаимодействие в глобальном масштабе;

– обеспечивать региональную гибкость на основе скоординированного регионального планирования;

– учитывать экономические, эксплуатационные и технические аспекты.

Относительно ILS, есть вероятность того, что полеты по ILS категории II или III не способны безопасно осуществляться на некоторых территориях. Расширение применения ILS ограничивается наличием каналов (40 каналов). Множество наземных установок ILS уже устарели и их следует заменить. Все же, во многих районах мира есть вероятность продолжения использования ILS в будущем.

Относительно GNSS, имеются Стандарты и Рекомендуемая практика (SARPS) для GNSS с функциональным дополнением для обеспечения APV и точных заходов на посадку по категории I. В разработке находится SARPS для наземной региональной системы функционального дополнения (GRAS) в целях обеспечения операций APV. В некоторых районах земного шара используется GNSS со спутниковой системой функционального дополнения (SBAS) для обеспечения операций APV. Планируется появление принятой на международном уровне GNSS с необходимым функциональным дополнением для обеспечения полетов по категориям II и III не ранее 2020-2025 гг. Своевременно должны быть решены некоторые вопросы технического и эксплуатационного характера, связанные с применением GNSS для вылета, посадки и захода на нее, и организационные вопросы, которые связаны с применением GNSS для захода на посадку, посадки и вылета.

Основываясь на изложенном выше, необходимости проведения консультаций с пользователями воздушных судов и международными организациями и обеспечения безопасности, эффективности и экономичности предлагаемых решений, глобальная стратегия заключается в следующем:

– не прекращать применение ILS с целью обеспечения высокого уровня обслуживания пока это приемлемо с эксплуатационной и выгодно с экономической точек зрения, для того, чтобы аэропорт оставался открытым для воздушных судов, оснащенных только оборудованием ILS;

– вводить GNSS с необходимым функциональным дополнением (т. е. ABAS, SBAS, GBAS) для обеспечения APV и полетов по категории I в тех

местах, где это необходимо с эксплуатационной точки зрения и выгодно с экономической точек зрения, обеспечив при этом надлежащий учет и устранение проблем, которые связаны с ионосферным распространением в экваториальных районах;

– поспособствовать созданию и применению многорежимного бортового оборудования для захода на посадку;

– поспособствовать применению операций APV, особенно с вертикальным наведением на основе GNSS, с целью повышения безопасности и регулярности полетов;

– обнаруживать и решать эксплуатационные и технические вопросы, связанные с возможностью применения GNSS вместе с наземной системой функционального дополнения (GBAS), для обеспечения выполнения операций по категориям II и III. Вводить GNSS для обеспечения операций по категориям II и III, где это необходимо с эксплуатационной и выгодно с экономической точек зрения;

– обеспечить возможность разработки каждым регионом стратегии внедрения этих систем в соответствии с глобальной стратегией.

4.1 Критерии очередности оснащения аэропортов Казахстана локальными контрольно-корректирующими станциями

Для создания программы оборудования аэропортов Казахстана ЛККС должны быть намечены критерии очередности установки ЛККС и определен наиболее оптимальный путь перехода на ЛККС с точки зрения реализации достоинств GNSS для повышения экономичности полетов, безопасности и регулярности. Построение критериев очередности зависит от множества факторов. Критерий очередности при установке ЛККС определяется:

– гарантированным сроком международного статуса ILS, числом международных аэропортов, темпами поставки оборудования;

– сроком службы ILS, так как экономической точки зрения нет смысла заменять ILS на ЛККС, если установленная в аэропорту система ILS еще далека пригодна для использования;

– видом обслуживаемых воздушных судов и структурой трасс, находящихся в данном аэропорту;

– возможностью повысить категорию аэропорта;

– интенсивностью посадок на аэродроме, определяющей эффективность внедрения нового оборудования;

– возможными объемами затрат;

– сокращением эксплуатационных вложений, связанных с одновременным обслуживанием двух систем;

– аспектами установки ЛККС, которые связаны с улучшением уровня безопасности и регулярности полетов;

– временем, которое необходимо для накопления опыта использования, отработки процедурных и сертификационных вопросов, разработки

нормативно-технической и эксплуатационной документации, подготовки и обучения персонала.

Предложенные критерии очередности, а также необходимость оптимизации взаимосвязи планов оснащения воздушных судов и аэропортов ЛККС, обуславливают стратегию оснащения.

Стоит взять во внимание факт того, что установка ЛККС в аэропорту приведет к получению доходов только для пользователей воздушного пространства за счет сокращения летного времени при маневрировании и заходе на посадку методом зональной навигации. Установка ЛККС принесет убытки, так как нельзя произвести замену системы ILS на систему ЛККС по многим причинам. Воздушные судна не могут быть оснащены необходимым бортовым оборудованием за короткий период времени. Помимо того, заход по ILS всегда останется важной частью резервирования системы посадки. То есть, при внедрении систем ЛККС система ILS еще достаточное количество времени должна использовать традиционные системы посадки и навигации в районе аэродрома и подходить к снятию с эксплуатации этих систем очень осторожно. При внедрении систем ЛККС в аэропорту пользователь получает возможность использовать оптимальный заход на посадку с применением ЛККС, экономя топливо, а, следовательно, и финансовые средства. Исходя из этого установка ЛККС более выгодна там, где потенциал ее применения наиболее высок, что зависит от интенсивности воздушного движения.

Таким образом, целесообразно определить следующую приоритетность критериев порядка оснащения аэродромов РК системами ЛККС:

– более выгодно внедрять ЛККС в аэропортах, где достигается наибольший экономический эффект;

– следует брать во внимание состояние с выработкой ресурса систем посадки ILS. Есть смысл оборудовать системами ЛККС аэропорты, где до выработки ресурса системами ILS остается 2-3 года, для того, чтобы за данное время обеспечить возможность пользователям переоснастить воздушные судна. При этом системы ЛККС и ILS будут работать совместно, чтобы оставить пользователям выбор при применении данных систем и обеспечить персоналу накопление опыта по использованию системы ЛККС при точном заходе на посадку по I категории ИКАО, маневрированию в районе аэродрома и применению оптимальной схемы захода в район 4-го разворота;

– для наиболее загруженных международных аэропортов и аэропортов федерального значения сохранять систему ILS на каждом направлении посадки по крайней мере до 2020-2025 годов, для менее загруженных оставить систему ILS хотя бы на одном из направлений посадки;

– для аэропортов, в которых количество посадок менее 1500 в год после снятия с эксплуатации ILS по причине ее физического износа внедрить неточный заход на посадку типа NPA или NPV-I/NPV-II с использованием системы GRAS или упрощенных дешевых ЛККС с поддержкой от системы GRAS для реализации контроля целостности навигационных сигналов. В

роли традиционных средств захода на посадку использовать ПРС, ОСП или сочетание ВОР/ДМЕ с ПРС;

– после 2020-2025 годов принять решение о применении только одной системы ILS для наиболее загруженных международных аэропортов и аэропортов федерального значения, для менее загруженных использовать в роли традиционных средств захода на посадку ПРС, ОСП или ВОР/ДМЕ с ПРС.

Список основных аэропортов Казахстана приведен в таблице 4.1.

Таблица 4.1 – Список основных аэропортов Казахстана

Город	Код ИКАО	Высота над уровнем моря (м)	Длина основной ВПП (м)	Макс. взлётный вес ВС (т)
Актау	UATE	22	2650	270
Актюбинск	UATT	225	3097	170
Алма-Ата	UAAA	681	4400	350
Аркалык	UAUP	388	2500	62
Нур-Султан	UACC	354	3500	350
Атырау	UATG	−22	2400	100
Аягуз	UASA	654	2500	-
Балхаш	UAAH	440	2500	-
Байконур (Юбилейный)	UAON	100	4500	392
Байконур (Крайний)	UAOL	100	3100	190
Жезказган	UAKD	381	2600	-
Караганда	UAKK	538	3600	-
Кызылорда	UAOO	132	2700	190
Кокшетау	UACK	263	2547	171
Костанай	UAUU	181	2500	140
Павлодар	UASP	125	2500	100
Петропавловск	UACP	138	2500	190
Семипалатинск	UASS	234	3100	-
Талдыкорган	UAAT	591	2501	87
Тараз	UADD	664	2900	-
Уральск	UARR	38	2400	98
Усть-Каменогорск	UASK	286	2500	-
Шымкент	UAII	421	2800	-
Экибастуз	UASB	238	2500	-

4.2 Технический расчёт

В этом разделе будут приведены следующие расчеты:

– расчет радиуса зоны покрытия передатчика;

– расчет уровня принимаемой мощности сигнала на расстоянии 37 км от передатчика;

– расчет уровня принимаемой мощности по методу Ли;

– сравнение расчетных значений с результатами экспериментальных замеров.

Исходные данные для расчетов даны в таблице 4.2.

Таблица 4.2 – Исходные данные

Параметр	Значение
Диапазон частот	108 – 118 МГц
Мощность передатчика на канал, P_1	50 Вт
Коэффициент усиления передающей антенны, G_1	6,3 дБ
Коэффициент усиления приемной антенны, G_2	0 дБ
Высота передающей антенны, h_1	30 м
Высота приемной антенны, h_2	1000 м
Погонное затухание фидера, β	0,05 дБ/м
Длина фидера передатчика, l_1	30 м
Длина фидера приемника, l_2	5 м
Коэффициент шума, F	6 дБ
Полоса канала, W	25 кГц
Количество каналов, n	10
Отношение сигнал/шум, S/N	54 дБ

4.2.1 Расчет радиуса зоны покрытия передатчика. Радиоволны метрового и дециметрового диапазонов распространяются в пределах прямой видимости. Радиус действия распространения радиоволны в пределах прямой видимости без учета мощности излучения передатчика и прочих природных явлений, уменьшающих эффективность связи, выглядит так

$$R_{ПР} = 3{,}57 \cdot (\sqrt{h_1} + \sqrt{h_2}), \text{ км} \qquad (4.1)$$

где h_1 и h_2 – высота передающей и приемной антенн, м.

Передающая антенна установлена в районе или на командно-диспетчерском пункте. Приемная антенна на борту воздушного судна (при заходе на посадку выбираем высоту приемной антенны 100-2500 м, а при пролете воздушного судна на эшелоне примем высоту 10000 м).

На практике чаще пользуются дальностью радиовидимости, которая несколько больше оптической из-за частичной дифракции и слабой рефракции в нижних слоях атмосферы

$$R_{ПР} = 4{,}12 \cdot (\sqrt{h_1} + \sqrt{h_2}), \text{ км} \qquad (4.2)$$

Рассчитаем расстояние прямой видимости с учетом рефракции радиоволн на высотах 100 м и 2500 м и 10000 м

$$R_{ПР} = 4{,}12 \cdot (\sqrt{30} + \sqrt{100}) = 63{,}8 \text{ (км)},$$

$$R_{ПР} = 4{,}12 \cdot (\sqrt{30} + \sqrt{2500}) = 228{,}5 \text{ (км)},$$

$$R_{ПР} = 4{,}12 \cdot (\sqrt{30} + \sqrt{10000}) = 434{,}6 \text{ (км)}.$$

Данная формула не учитывает затухание сигнала и мощности передатчика, она говорит лишь о возможности прямой видимости с учетом идеально круглой земли.

Для расчета радиуса действия передатчика при наличии прямой видимости будем исходить из мощностных характеристик базового и абонентского оборудования, коэффициентов усиления приемных и передающих антенн, а также учтем возникающие при распространении потери.

Потери в свободном пространстве вызваны тем, что с ростом расстояния от передающей антенны до приемной излученная энергия распределяется по все большей площади, и на приемную антенну приходится лишь малая часть излученной энергии. В наиболее простом случае, когда передающая антенна является всенаправленной, энергия излучения распределяется по сферической поверхности. С ростом расстояния площадь поверхности сферы увеличивается, а плотность электромагнитной энергии, приходящейся на единицу поверхности, уменьшается. Такие потери определяются по формуле

$$L = \frac{P_U}{P_{ПР}} = \frac{(4\pi \cdot r)^2}{\lambda^2}, \qquad (4.3)$$

где P_U, $P_{ПР}$ – мощности излучения и приема соответственно;

r – расстояние между передающей и приемной антеннами.

Выразим это отношение мощностей в децибелах

$$L = 10 \cdot \lg(\frac{P_U}{P_{ПР}}) = 20 \cdot \lg\left(\frac{4\pi \cdot r}{\lambda}\right). \qquad (4.4)$$

С помощью направленных антенн удается сконцентрировать излучаемую энергию в заданном направлении, тем самым увеличивается доля энергии в приемной антенне. С учетом коэффициента усиления передающей G_1 и приемной G_2 антенн потери в свободном пространстве можно записать так

$$L = 10 \cdot \lg(\frac{P_U}{P_{ПР}}) = 20 \cdot \lg\left(\frac{4\pi \cdot r}{\lambda}\right) - 10 \cdot \lg(G_1 \cdot G_2). \quad (4.5)$$

То есть с ростом частоты (уменьшением длины волны) и уменьшением коэффициента усиления антенн затухание увеличивается.

Учтем потери в передающем и приемном фидере и определим поправку $L_{РЕЛ}$, учитывающую рельеф местности

$$L = 10 \cdot \lg(\frac{P_U}{P_{ПР}}) = 20 \cdot \lg\left(\frac{4\pi \cdot r}{\lambda}\right) - 10 \cdot \lg(G_1 \cdot G_2) + \eta_1 + \eta_2 + L_{РЕЛ}, \quad (4.6)$$

где η_1, η_2 – потери в передающем и приемном фидере выраженные в дБ.

Значение коэффициента $L_{РЕЛ}$ принимаем из полученных данных на практике при прохождении преддипломной практики равным 18 дБ.

Из формулы (4.6) определим расстояние r от передающей антенны

$$r = \frac{\lambda}{4\pi} \cdot 10^{\frac{10\lg P_U - 10\lg P_{ПР} + 10\lg G_1 + 10\lg G_2 - \eta_1 - \eta_2 - L_{РЕЛ}}{20}}. \quad (4.7)$$

Излучаемая мощность определяется количество передаваемых каналов

$$P_U = P_1 \cdot n, \text{ Вт}, \quad (4.8)$$

где P_1 – канальная мощность передатчика,

n – количество передаваемых каналов.

$$P_U = 50 \cdot 10 = 500 \text{ (Вт)}.$$

или

$$P_U = 10 \cdot \log(500) = 27 \text{ (дБ)}.$$

Минимальные уровень принимаемой мощности $P_{ПР}$ определяется шумовой температурой приемной антенны T_A, полосой канала W, коэффициентом шума F и отношением сигнал/шум S/N

$$P_{ПР[дБм]} = 10 \cdot \lg(k \cdot T_A \cdot W_{[Гц]}) + F_{[дБ]} + \frac{S}{N}_{[дБ]}, \quad (4.9)$$

где $k=1{,}38 \cdot 10^{-23}$ Дж/К – постоянная Больцмана.

Для расчета шумовой температуры антенны T_A можно воспользоваться формулой

$$T_A = T_0 + \left(\frac{1200}{f_{[\text{МГц}]}}\right)^2, \qquad (4.10)$$

где T_0 = 293 К – нормальная шумовая температура;

f – средняя частота диапазона.

Тогда

$$T_A = 293 + \left(\frac{1200}{113}\right)^2 = 405\,(\text{К}),$$

$$P_{ПР} = 10 \cdot \lg(1.38 \cdot 10^{-23} \cdot 405 \cdot 25 \cdot 10^3) + 6 + 54 = -98{,}5 \ (\text{дБм}),$$

или

$$P_{ПР} = 10 \cdot \log\left(\frac{10^{\frac{-98.5}{10}}}{1000}\right) = -128{,}5\,(\text{дБ}).$$

Длина волны определяется выражением

$$\lambda = \frac{c}{f} = \frac{3 \cdot 10^8}{113 \cdot 10^6} = 2{,}655\,(\text{м}), \qquad (4.11)$$

где $c = 3 \cdot 10^8$ м/с

Потери в передающем и приемном фидере

$$\eta = \beta \cdot l, \qquad (4.12)$$

где β – погонное затухание фидера, дБ/м,

l – длина фидера.

$$\eta_1 = 0{,}05 \cdot 30 = 1{,}5 \ (\text{дБ}),$$

$$\eta_1 = 0{,}05 \cdot 5 = 0{,}25 \ (\text{дБ}).$$

Вычисляем расстояние от передающей до приемной антенны по (4.7)

$$r = \frac{2{,}655}{4 \cdot 3{,}14} \cdot 10^{\frac{27+128{,}5+6{,}3-1{,}5-0{,}25-18}{20}} = 299 \text{ (км)}.$$

Рассчитаем напряженность поля в точке 299 км от передатчика

$$E = 222 \cdot \frac{\sqrt{P \cdot G \cdot \eta}}{r} \quad (\frac{мкВ}{м}), \tag{4.13}$$

$$E = 222 \cdot \frac{\sqrt{0{,}05 \cdot 6{,}3 \cdot 0{,}95}}{299000} = 405 \quad (\frac{мкВ}{м}).$$

4.2.2 Расчет уровня принимаемой мощности сигнала. Произведем расчет принимаемой мощности на расстоянии 37 км от передающей антенны.

Мощность входного сигнала

$$\mathrm{P_{0ПР}} = \mathrm{P_И} + \mathrm{G_1} + \mathrm{G_2} - \eta_1 - \eta_2 + \mathrm{W_0} - \mathrm{L_{РЕЛ}}, \tag{4.14}$$

где $\mathrm{P_{0ПР}}$, $\mathrm{P_И}$ выражены в децибелах относительно ватта, а остальные величины в децибелах;

$\mathrm{W_0}$ – ослабление в свободном пространстве между ненаправленными антеннами, рассчитывается по формуле

$$W_0 = 20 \cdot \lg\left(\frac{\lambda}{4 \cdot \pi \cdot R}\right), \tag{4.15}$$

$$W_0 = 20 \cdot \lg\left(\frac{2{,}655}{4 \cdot 3{,}14 \cdot 37000}\right) = -104{,}867 \text{ (дБ)}.$$

Влияние поверхности земли и тропосферы учитывается так называемым множителем ослабления поля свободного пространства V [7]

$$\mathrm{P_{0ПР}} = \mathrm{P_И} + \mathrm{G_1} + \mathrm{G_2} - \eta_1 - \eta_2 + \mathrm{W_0} - \mathrm{L_{РЕЛ}} + V. \tag{4.16}$$

Множитель ослабления зависит от протяженности трассы, длины волны, высот антенн, рельефа местности, метеорологических параметров тропосферы. Из-за того, что в точку приема помимо прямой волны могут приходить одна или несколько волн, отраженных от земной поверхности, на открытых участках линий передачи он имеет интерференционный характер,.

Интерференционный множитель ослабления $\mathrm{V_И}$ рассчитывается по формуле [9]

$$V_И = \sqrt{1 + \Phi^2 + 2 \cdot \Phi \cdot \cos\left(\frac{4 \cdot \pi \cdot H_1 \cdot H_2}{\lambda \cdot R} + \theta\right)}, \quad (4.17)$$

где Ф – модуль коэффициента отражения;

H_1, H_2 – высоты подъема передающей и приемной антенн, м;

R – расстояние между точкой приема и передачи, м;

θ – фаза коэффициента отражения, град.

При распространении радиоволн на большие расстояния значения фазы коэффициента отражения стремится к 180˚ (θ → 180˚) [10] и из-за сложности вычисления коэффициентов отражения к расчету принимают их усредненные значения, выбираемые из таблицы «Усредненные значения коэффициентов отражения» [5]. Подставляя в формулу (4.17) соответствующие значения модуля коэффициента отражения (согласно [5] Ф=0,9 для пересеченной лесистой местности), фазы коэффициента отражения θ = 180˚, длины волны, определенное по формуле (4.12), высоты подъема антенн и расстояния между антеннами, рассчитаем интерференционный множитель ослабления

$$V_И = \sqrt{1 + 0{,}9^2 + 2 \cdot 0{,}9 \cdot \cos\left(\frac{4 \cdot \pi \cdot 30 \cdot 1000}{2{,}655 \cdot 37} + \pi\right)} = 1.004 .$$

Перевод значений множителей ослабления из логарифмической (в дБ) в линейную систему исчисления осуществляется на основании формулы [5]:

$$V_{[дБ]} = 20 \cdot \lg(V) , \quad (4.18)$$

тогда

$$V_И = 2{,}151 \text{ (дБ)}.$$

Величина множителя ослабления при поглощении радиосигнала гидрометеорами в децибелах определяется по формуле [5]

$$V_Г = -\gamma \cdot R_{ЭФ} , \quad (4.19)$$

где γ – коэффициент ослабления, дБ/км;

$R_{ЭФ}$ – эффективная длина трассы км, на которой коэффициент ослабления примерно постоянен и равен γ.

Коэффициент ослабления в дожде определяется по формуле [17]

$$\gamma = \beta \cdot J^{\alpha} , \quad (4.20)$$

где J – интенсивность осадком, мм/час;

α и β – коэффициенты, определяемы по формулам [17]:

$$\alpha = \alpha_0 + \alpha_1 \cdot \ln^{-1}(f) + \alpha_2 \cdot \ln^{-3}(f) + \alpha_3 \cdot \ln^{-5}(f), \qquad (4.21)$$

где α_0 = -2,125, α_1 = 16,48, α_2 = -87,9, α_3 = 222,2;

f – частота, МГц.

$$\beta = e^{\beta_0 + \beta_1 \cdot \ln(f) + \beta_2 \cdot \ln^2(f)}, \qquad (4.22)$$

где β_0 = -12,39, β_1 = 4,1, β_2 = -0,288.

Подставляя соответствующие значения коэффициентов и значения частоты в формулы (4.21) и (4.22), определим значения коэффициентов α и β

$$\alpha = -2{,}125 + 16{,}48 \cdot \ln^{-1}(113) - 87{,}9 \cdot \ln^{-3}(113) + 222{,}2 \cdot \ln^{-5}(113) = -0{,}377,$$

$$\beta = e^{-12{,}39 + 4{,}1 \cdot \ln(113) - 0{,}288 \ln^2(113)} = 1{,}774.$$

Принимая среднюю интенсивность дождя равной 10 мм/ч, подставляем ее значение и ранее полученные значения коэффициентов α и β в формулу (4.20)

$$\gamma = 1{,}774 \cdot 10^{-0{,}377} = 0{,}838.$$

Эффективная протяженность дождевого образования в километрах определяется по эмпирической формуле [17]

$$R_{ЭФ} = \frac{R_0}{1 + \dfrac{R_0}{35 \cdot e^{-0{,}015 \cdot J_{0.01}}}}, \qquad (4.23)$$

где $J_{0,01}$ – интенсивность дождя, который идет в данной местности в течении 0,01% времени, мм/ч;

R_0 – длина радиотрассы, км.

Величина $J_{0,01}$ определяется по номограмме «Статические распределения среднеминутных значений интенсивности дождей» [5]

$J_{0,01}$ = 50 (мм/час).

Подставляя в формулу (4.23) значение $J_{0,01}$ и соответствующую длину радиотрассы, определим эффективную длину радиотрассы

$$R_{ЭФ} = \frac{37}{1 + \frac{37}{35 \cdot e^{-0,015 \cdot 50}}} = 11,5 \text{ (км)}.$$

Подставляя в формулу (4.19) полученные значения $R_{ЭФ}$ и γ, рассчитаем множитель ослабления в дожде

$$V_{Г\,ДОЖДЬ} = -0,838 \cdot 11,5 = -9,57 \text{ (дБ)}.$$

Коэффициент ослабления в сухом снеге и граде значительно меньше, чем в дожде той же интенсивности, из-за меньшей величины диэлектрической проницаемости твердых частиц (для воды ε ≈ 80, для льда и снега ε = 2 ÷ 3). Его значение определяется из таблица «Сравнительная оценка коэффициентов ослабления для сухого снега и дождя» [5].

Коэффициент ослабления в туманах определяется по формуле [5]

$$\gamma = k_E \cdot M, \tag{4.24}$$

где M – количество жидкости в единице объема (водность), г/м^3, выбираемое из таблицы «Характеристики облаков и туманов» [5];

k_E – коэффициент ослабления на единицу водности, дБ·м^3/км·г, определяемый по номограмме «Определение коэффициента ослабления в туманах и облаках» [5].

Определим значение водности:

– для капельно-жидких туманов: M = 1 (г/м^3);

– для смешанных туманов: M = 0,3 (г/м^3).

Определим коэффициент ослабления на единицу водности:

а) для капельно-жидких туманов:

1) при температура 10˚С: k_e = 0,11 (дБ·м^3/км·г);

2) при температуре 20˚С: k_e = 0,09 (дБ·м^3/км·г);

б) для смешанных туманов:

1) при температура 0˚С: k_e = 0,16 (дБ·м^3/км·г);

2) при температуре -8˚С: k_e = 0,2 (дБ·м^3/км·г).

Горизонтальная протяженность туманов достигает нескольких сотен километров. Поэтому, будем считать, что для туманов $R_{ЭФ} \geq R_0$.

Подставляя в формулу (4.24) полученные значения водности и коэффициента ослабления на единицу водности, определим коэффициент ослабления:

а) для капельно-жидких туманов:

1) при температура 10˚С: γ = 0,11 (дБ/км);

2) при температуре 20˚С: γ = 0,09 (дБ/км);

б) для смешанных туманов:

1) при температура 0˚С: γ = 0,048 (дБ/км);

2) при температуре -8˚С: γ = 0,06 (дБ/км).

Подставляя в формулу (4.20) полученные значения коэффициента ослабления, определим множитель ослабления:

а) в капельно-жидких туманах:

1) при температура 10˚С: $V_{Г\,Т}$ = -0,11·11,5 = -1,2 (дБ);

2) при температуре 20˚С: $V_{Г\,Т}$ = -0,09·11,5 = -1,1 (дБ);

б) в смешанных туманах:

1) при температура 0˚С: $V_{Г\,Т}$ = -0,048·11,5 = -0,5 (дБ);

2) при температуре -8˚С: $V_{Г\,Т}$ = -0,06·11,5 = -0,7 (дБ).

Из газов, входящих в состав атмосферы, ослабление вызывают кислород и водяной пар. Оно обусловлено взаимодействием падающего поля волны и молекул газов, обладающих электрических и магнитным моментами, и достигает максимума при совпадении частоты воздействующего поля с собственными частотами колебаний молекул. Экспериментальные данные, приведенные в [5], показывают, что ослабление сигнала кислородом и водяным паром можно пренебречь на частотах, меньших 3 ГГц.

С учетом рассчитанного ослабления за счет подстилающей поверхности определим мощность сигнала в точке приема используя (4.16)

$$P_{0ПП} = 16{,}99 + 6{,}3 - 1{,}5 - 0{,}25 - 104 - 18 + 1{,}004 = -99{,}45(дБ).$$

Используя найденное значение мощности принимаемого сигнала с учетом ослабления за счет подстилающей поверхности, определим мощность принимаемого сигнала при поглощении сигнала:

а) в дожде и мокром снеге

$$P_{0ПРД} = P_{0ПР} + V_{ГДОЖДЬ} = -99{,}45 - 9{,}57 = -109{,}02 \text{ (дБ)};$$

б) в капельно-жидких туманах:

1) при температура 10˚С

$$P_{0ПРД} = P_{0ПР} + V_{Т} = -99{,}45 - 1{,}2 = -100{,}65 \text{ (дБ)};$$

2) при температура 20˚С:

$$P_{0ПРД} = P_{0ПР} + V_{Т} = -99{,}45 - 1{,}1 = -100{,}55 \text{ (дБ)};$$

в) в смешанных туманах:

1) при температура 10˚С

$$P_{0ПРД} = P_{0ПР} + V_{Т} = -99{,}45 - 0{,}5 = -99{,}95 \text{ (дБ)};$$

2) при температура -8˚С

$$P_{0ПРД} = P_{0ПР} + V_{Т} = -99{,}45 - 0{,}7 = -100{,}15 \text{ (дБ).}$$

4.2.3 Расчет мощности принимаемого сигнала по методу Ли. Ли предложил очень простую модель распространения сигнала, основанную на серии проведенных в США измерений на несущей частоте f=900 МГц. Согласно модели Ли, среднее значение мощности, измеренной на расстоянии d от передающей станции, описывается выражением [3]

$$P(d) = P_0 \left(\frac{d}{d_0}\right)^{-\gamma} \cdot \left(\frac{f}{f_0}\right)^{-n} \cdot F_0 \qquad (4.25)$$

или в логарифмическом представлении

$$P(d) = P_0 - \gamma \cdot \lg\left(\frac{d}{d_0}\right) - n \cdot \left(\frac{f}{f_0}\right) + F_0 \qquad (4.26)$$

,

где P_0 – эталонная медианная мощность, измеренная на расстоянии d_0=1 км;

F_0 – поправочный коэффициент, вычисляемый на основе серии компонентных множителей по формуле

$$F_0 = \prod_{i=1}^{5} F_i \ . \qquad (4.27)$$

Коэффициенты F_i рассчитываются следующим образом [13]

$$F_1 = \left(\frac{h_1}{30{,}48}\right)^2, \qquad (4.28)$$

$$F_2 = \left(\frac{h_2}{3}\right)^{\nu}, \qquad (4.29)$$

$$F_3 = \frac{P_И}{4}, \qquad (4.30)$$

$$F_4 = \frac{G_1}{4}, \qquad (4.31)$$

$$F_5 = G_2, \qquad (4.32)$$

где h_1 – высота антенны передающей станции, м;

v = 1 – показатель степени при высоте антенны подвижной станции более 10 м;

$P_И$ – мощность сигнала, излучаемого передатчиком передающей станции, Вт;

G_1, G_2 – коэффициенты усиления антенн соответственно передающей и подвижной станции относительно полуволнового вибратора.

Параметры P_0 и γ получены экспериментально на основе проведенных замеров в различных типах окружающей среды, их значения выбираются из таблицы «Значения P_0 и γ для различных типов окружающей среды», приведенной в [13]: для города P_0 = -62,5 дБ, γ = 38,6 дБ.

Медианные потери мощности в зависимости от частоты определяются коэффициентом $(f/f_0)^{-n}$ и его показателем степени n. Для расстояний между подвижной и базовой станциями от 2 до 30 км значение n лежит в диапазоне от 2 до 3. Величина n также зависит от топографических особенностей местности. Для вычисления поправочного коэффициента F_0 необходимо найти его компоненты F_i (i=1 … 5).

$$F_1 = \left(\frac{30}{30{,}48}\right)^2 = 0{,}969 \qquad 10 \cdot \lg(0{,}969) = -0{,}13 \text{ (дБ)},$$

$$F_2 = \left(\frac{1000}{3}\right)^1 = 333{,}3 \qquad 10 \cdot \lg(333{,}3) = 25{,}2 \text{ (дБ)},$$

$$F_3 = \frac{50}{4} = 12{,}5 \qquad 10 \cdot \lg(12{,}5) = 10{,}9 \text{ (дБ)},$$

$$F_4 = \frac{6{,}3}{4} = 1{,}575 \text{ (дБ)},$$

$$F_5 = 0 \text{ (дБ)}.$$

В результате получим

$$F_0 = -0{,}13 + 25{,}2 + 10{,}9 + 1{,}575 + 0 = 37{,}5 \text{ (дБ)}.$$

Коэффициент n принимаем равным 3. В итоге получаем искомую мощность принимаемого сигнала согласно (4.26)

$$P(d) = -62{,}5 - 38{,}6 \cdot \lg\left(\frac{37}{1}\right) - 3 \cdot \left(\frac{113}{900}\right) + 37{,}5 = -85{,}9 \text{ (дБ)}.$$

По данным расчетам была разработана программа. Листинг и окно программы изображены в приложении А.

5 Безопасность жизнедеятельности

5.1 Анализ условий труда персонала при обслуживании технологического оборудования

В данном разделе дипломного проекта приводится анализ условий труда персонала, обслуживающего радиотехнические средства. Тема дипломной работы: «Системы спутниковой навигации воздушных судов». Распространение передачи данных обеспечивает сеть базовых станций с фиксированными антеннами, передающими информацию коммутационным центрам с помощью радиочастотных сигналов.

Месторасположение базовой станции определяется с учетом обеспечения покрытия зоны аэропорта и ВПП, качества связи и обусловливается наличием помещений или открытых мест, отвечающих техническим требованиям для монтирования и управления соответствующего оборудования. Коммутационное оборудование располагается в специально оборудованном помещении, которое проектировалось, согласно требованиям обеспечения бесперебойной работы. План помещения представлен на рисунке 5.1.

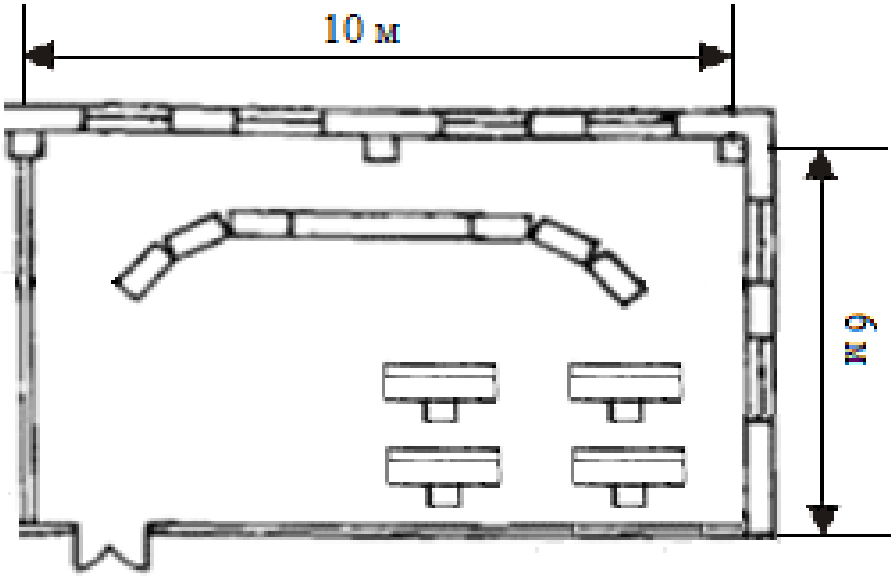

Рисунок 5.1 – План помещения

Оборудование представляет собой набор коммутационных платформ и стоек, предназначенных для организации приёма, корректирования и передачи

данных. На оборудовании присутствуют все необходимые заземления и зануления корпусов, имеется источник резервного автономного питания на случай отключения основного. Также везде функционирует автоматика включения дизеля. Дизель запускается автоматически. В оборудовании встроены датчики температуры, благодаря чему, дежурный инженер следит за температурой в контейнерах.

Категорирование помещений по взрывопожарной и пожарной опасности производится на основе хранящихся там веществ и материалов. Что касается аппаратных залов, горючие вещества (материалы) там не перерабатываются, т. е. горючей пыли или паров в комнате нет. Компьютерное и коммутационное оборудование исполняется из пожаробезопасных материалов. В комнате не хранятся жидкое или твердое топливо, горючие газы, взрывоопасные вещества и пр., значит, отнесение помещения к взрывопожароопасным категориям А или Б исключается. Особенность аппаратных залов – наличие мощного электрооборудования, для охлаждения которых используется вентиляционная система. Распространения пожара и дыма через вентиляцию, ее оборудуют противопожарным клапаном. Кроме того, аппаратура размещена компактно, то есть пожарная нагрузка в помещении приходится на участок небольшой площади.

По категории помещение относится к группе В2 и II степени огнестойкости.

Причинами возгорания могут быть:

– отказ оборудования. Когда электрические компоненты замыкаются или перегружаются, они могут загореться;

– проблемы с проводкой. Заломы, перегибы, поврежденная изоляция, контакт с металлическими элементами оборудования и т.д;

– некорректная работа системы кондиционирования и вентиляции. В диспетчерской необходимо всегда контролировать температуру воздуха и влажность. Если этого не делать, электроника быстро перегревается;

– причины, не связанные с работой оборудования. Огонь может распространиться из других помещений (особенно через настенные и потолочные проемы). Возможно и нарушение техники безопасности со стороны работников.

5.2 Организационные и технические противопожарные мероприятия

Пожарная безопасность устанавливается мероприятиями:

а) организационными:

1) разработка правил, инструктажей о пожарной безопасности;

2) организация инструктирования, обучение работников;

3) осуществление контроля за соблюдением установленного противопожарного режима всеми работниками;

4) организация ежедневных проверок противопожарной безопасности после работы;

5) разработка и утверждение плана эвакуации и порядка оповещения людей на случай возникновения пожара;

6) организация соблюдения надежного противопожарного надзора за объектом;

7) организация проверки пожарно-технического инвентаря;

б) техническими:

1) соблюдение пожарных норм, требований и правил при устройстве здания;

2) поддержание в исправном состоянии систем отопления, вентиляции, электрооборудования;

3) устройство автоматической пожарной сигнализации, системы автоматического пожаротушения;

4) правильная организация труда на рабочих местах с использованием пожароопасных инструментов и приборов.

5.3 Выбор методов и средств пожаротушения

Согласно СН РК 2.02-11-2002 аппаратные залы с ЭВМ оборудуются автоматическими установками пожаротушения.

Системы пожаротушения, использующие в качестве огнетушащего состава воду не подходят. Контакт воды с оборудованием недопустим.

Системы порошкового и аэрозольного пожаротушения также не подходят, потому что они не могут бороться с огнём в труднодоступных местах. Также очистить помещение и работать в нем дальше после попадания аэрозоля или порошка практически невозможно.

Остаётся один метод – газовое пожаротушение по объему (газовое огнетушащее вещество распространяется по всему помещению).

На сегодняшний день используются несколько модификаций газовых огнетушащих составов:

– углекислый газ (углекислый газ опасен для здоровья людей и достаточно сложен в хранении);

– инерген (для человека более безопасен, чем углекислый газ, имеет меньше побочных эффектов, но на современном рынке пока не очень распространён);

– хладоны.

Для аппаратных залов чаще всего используют хладоны. Особенности аппаратного зала, как защищаемого объекта:

– в аппаратном зале находится дорогостоящее оборудование. Газовая система пожаротушения максимально быстро определяет факт возгорания и сводит к минимуму ущерб. Газовый огнетушащий состав не причинит вред защищаемому оборудованию;

– останавливать функционирование аппаратного зала на длительное время нельзя. Это может нанести значительный ущерб. По этой причине необходимо использовать диэлектрики, что делает возможным борьбу с пожаром без отключения техники от напряжения;

– персоналу, находящемуся во время работы в аппаратной, должна быть обеспечена безопасность. Во время газового пожаротушения людей в помещении быть не должно.

5.3.1 Расчет установок объемного хладонового пожаротушения. Масса *m* основного запаса хладона 227еа, кг, определяется по формуле

$$m = V \cdot q_n \cdot k + m_1 \cdot \xi + m_2 + m_3, \tag{5.1}$$

где V – объем защищаемого помещения, м^3;

q_n – нормативная массовая огнетушащая концентрация, принимаемая равной 0,22 кг/м^3 - для помещений с производством категории В;

k – коэффициент, учитывающий потери хладона за счет остатка в трубопроводах и утечки его из защищаемого помещения (принимается равным 1,2 для помещений, 1,1 — для подполий);

m_1 – остаток хладона в баллоне, определяется по паспортным данным на модуль, кг, (см. таблицу 5.1);

ξ – число баллонов;

m_2 – масса остатка хладона в распределительных трубопроводах (только для кабельных подполий), кг;

m_3 – масса остатка хладона в коллекторе, кг.

Примечание. При наличии постоянно открытых проемов, площадь которых составляет от 1 до 10 % площади ограждающих конструкций помещения, следует принимать дополнительный расход хладона, равный 2 кг на 1 м^2 проемов.

$$m = 240 \cdot 0{,}22 \cdot 1{,}2 + 3 \cdot 2 + 10{,}2 = 79{,}56(кг).$$

Таблица 5.1 – Допустимый остаток газа в баллонах для систем на основе хладона 227еа

Емкость модуля, л	Диаметр модуля, л	Остаток газа (хладона 227еа) в баллоне, кг
14	170	0,3
30	200	0,3
60	356	2,0
80	396	3,0
100	356	2,0
120	356	2,0
140	396	3,0
180	396	3,0

Коллектор К-65-2-60, где 2 – количество баллонов в батарее; 60 – диаметр коллектора, мм.

Длина L коллектора

$$L = 0{,}805 \cdot 8 = 6{,}44 \text{ (м)},$$

тогда объем коллектора

$$V_{кол} = 6{,}44 \cdot 3{,}14 \cdot (60 \cdot 10^{-3})^2 / 4 = 18{,}2 \cdot 10^{-3} \text{ (м}^3\text{)}.$$

Масса m_3 остатка хладона в коллекторе, кг

$$m_3 = 0{,}4 V_{кол} \cdot \rho_1, \tag{5.2}$$

где ρ_1 – плотность жидкой фазы хладона (для хладона 227еа при температуре 20°С плотность равна 1407 кг/м^3).

$$m_3 = 0{,}4 V_{кол} \cdot \rho_1 = 0{,}4 \cdot 18{,}2 \cdot 10^{-3} \cdot 1407 = 10{,}2 (кг).$$

Расчетное время подачи хладона следует принимать для помещений 2, 3, 4, 6, 7-й групп – не более 60 с, для помещений 1-й и 5-й групп – не более 120 с.

Расход хладона через насадок Q, м^3/с определяется по формуле

$$Q = \mu \cdot A \cdot \sqrt{2g \cdot H}, \tag{5.3}$$

где μ – коэффициент расхода насадка, для многоструйных насадков, как правило, равен 0,6-0,7;

A – суммарная площадь выпускных отверстий насадка, м^2;

g – ускорение силы тяжести, м/с^2;

H – напор у оросителя, м (у наиболее удаленного от станции оросителя к концу работы установки H = 15м).

$$Q = \mu \cdot A \cdot \sqrt{2g \cdot H} = 0{,}6 \cdot 1{,}2 \cdot 10^{-3} \cdot \sqrt{2 \cdot 9{,}8 \cdot 15} = 0{,}012 (м^3 / с).$$

Требуемый массовый расход ГОТВ, G, кг/с

$$G = 0{,}95 \cdot \frac{m}{\tau}, \tag{5.4}$$

$$G = 0{,}95 \cdot \frac{79{,}56}{10} = 7{,}56 (кг / с),$$

где m – масса основного запаса хладона 227еа, кг;

τ – время выпуска не менее 95% ГОТВ (для хладона 227еа 10 с), с.

Суммарная площадь выпускных отверстий насадков, A, м^2

$$A = \frac{G}{\mu \cdot J}, \tag{5.5}$$

$$A = \frac{7{,}56}{0{,}6 \cdot 11000} = 1{,}2 \cdot 10^{-3} (м^2),$$

где J – начальное значение приведенного массового расхода ГОТВ (для хладона 227еа 11000±1000 кг/(с·м^2)).

Потери напора на участке трубопровода ΔH, м, определяются по формуле

$$\Delta H = \frac{\lambda \cdot l \cdot v^2}{d \cdot 2g}, \tag{5.6}$$

где λ – коэффициент сопротивления трению;

l – длина трубопровода, м. Длина подводящего трубопровода составляет 10 м, $D_н$ = 42 мм (труба 42×3 по ГОСТ 8732);

v – скорость потока хладона, м/с;

d – внутренний диаметр трубопровода, м, $d = 32 \cdot 10^{-3}$м.

Скорость потока хладона v, м/с, определяется по формуле

$$v = \frac{Q}{S}, \tag{5.7}$$

где Q – расход хладона, м^3/с;

S – площадь сечения трубопровода, м^2.

$$S = \pi \cdot (\frac{D_н}{2} - N)^2 = 3{,}14 \cdot (\frac{42 \cdot 10^{-3}}{2} - 10 \cdot 10^{-3}) = 34{,}54 \cdot 10^{-3} (м^2),$$

$$v = \frac{0{,}012}{34{,}54 \cdot 10^{-3}} = 0{,}35 (м/с).$$

Коэффициент сопротивления трению λ определяется по формуле

$$\lambda = 0{,}11 \left(\frac{n_1}{d} + \frac{68}{\mathrm{Re}} \right)^{0{,}25}, \tag{5.8}$$

где n_1 – эквивалентная абсолютная шероховатость, м, принимается равной $2 \cdot 10^{-4}$ для трубопроводов и $3 \cdot 10^{-6}$ для сифонных трубок баллонов;

Re – число Рейнольдса.

$$\mathrm{Re} = \frac{Q \cdot D_н}{v \cdot S}, \tag{5.9}$$

где ν – кинематическая вязкость, м^2/с.

$$\nu = \frac{\eta}{\rho_1}, \tag{5.10}$$

где η – коэффициент динамической вязкости, для хладонов равный

$$\eta = 0{,}244141+0{,}0386633T, \tag{5.11}$$

где T – температура, К.

$$\eta = 0{,}244141+0{,}0386633\cdot 293{,}15 \approx 11{,}6,$$

$$\nu = \frac{11{,}6}{1407} = 0{,}008(м^2/с),$$

$$\mathrm{Re} = \frac{0{,}012\cdot 42\cdot 10^{-3}}{0{,}008\cdot 34{,}54\cdot 10^{-3}} = 1{,}82,$$

$$\lambda = 0{,}11\cdot\left(\frac{2\cdot 10^{-4}}{32\cdot 10^{-3}} + \frac{68}{1{,}82}\right)^{0{,}25} = 0{,}11\cdot 37{,}37^{0{,}25} = 0{,}27,$$

$$\Delta H = \frac{0{,}27\cdot 10\cdot 0{,}35^2}{32\cdot 10^{-3}\cdot 2\cdot 9{,}8} = 0{,}53(м).$$

Минимальный напор H_{min}, м, в баллоне с хладоном к концу работы установки определяется по формуле

$$H_{\min} = \Delta H + H_1 + H_2 + H_3 + H, \tag{5.12}$$

где ΔH – потери напора в трубопроводах, м;

H_1 – потери напора в фасонных частях трубопровода, принимаются равными 20% от ΔH,м;

H_2 – местные потери в запорной арматуре оборудования, м, определяются по формуле

$$H_2 = \varepsilon\cdot\frac{\nu^2}{2g}, \tag{5.13}$$

где ε – коэффициент сопротивления, принимается равным: 2,64 для головки ГЗСМ и клапана ЗК-32, 1,07 для головки ГАВЗ и клапана ОК-10;

v – скорость потока хладона, м/с;

H_3 – разница геометрических отметок между отметкой, на которой установлен баллон, и наиболее высоко расположенным насадком, м;

H – свободный напор у наиболее удаленного насадка, принимаемый равным 15 м.

$$H_2 = 2{,}64 \cdot \frac{0{,}35^2}{2 \cdot 9{,}8} = 0{,}02(м),$$

$$H_{\min} = 0{,}53 + 0{,}106 + 0{,}02 + 3{,}951 + 15 = 19{,}6(м).$$

Минимальное давление $P_{\min}$, МПа, в баллоне к концу истечения хладона определяется по формуле

$$P_{\min} = H_{\min} \cdot \gamma \cdot 10^{-6}, \tag{5.14}$$

где γ – удельный вес хладона, Н/м^3, определяется по формуле

$$\gamma = \rho_1 \cdot g = 1407 \cdot 9{,}8 = 13788{,}6(Н / м^3), \tag{5.15}$$

$$P_{\min} = 19{,}6 \cdot 13788{,}6 \cdot 10^{-6} = 0{,}27(МПа).$$

5.4 Эвакуационные выходы и пути

Эвакуационными выходами считают дверные проемы, если они ведут из помещений непосредственно наружу; в лестничную клетку с выходом наружу непосредственно или через вестибюль, отделенные от коридоров перегородками с дверьми; в соседние помещения того же этажа, не содержащие производств, относящихся по пожарной опасности к категориям А, Б и Е, а также имеющие непосредственный выход наружу или на лестничную клетку.

Эвакуационными путями считаются такие, которые ведут к эвакуационному выходу и обеспечивают безопасное движение в течение определенного времени.

Процесс эвакуации из зданий делится на три этапа. Первый этап — это движение людей от наиболее удаленной точки помещения до эвакуационного выхода. Второй этап эвакуации представляет собой движение людей от эвакуационных выходов из помещений до выходов наружу. Такое движение происходит по коридорам, проходам к фойе и лестничным клеткам и по лестницам — через вестибюль наружу. Третий этап — движение людей от выхода из зданий и рассеивание их в городском потоке или на заводской территории. Все пути эвакуации должны иметь по возможности ровные вертикальные ограждения конструкций без элементов, сужающих свободную длину пути. Минимальная ширина коридора или прохода должна быть не менее 1,0 м. Двери, выходящие в коридор из примыкающих помещений,

могут открываться по ходу людского потока или внутрь помещения. Коридоры и проходы, предназначенные для эвакуации, должны иметь возможно меньшую длину и минимальное количество поворотов. Минимальная ширина лестничных маршей не должна быть меньше установленной по условиям одиночного перемещения людей.

5.4.1 Расчет времени эвакуации людей из отдельных помещений и здания в целом. Здание, в котором расположен аппаратный зал, не оборудовано автоматической системой сигнализации и оповещения о пожаре. Здание трехэтажное, имеет размеры в плане 12х30 м, в его коридорах шириной 3 м имеются схемы эвакуации людей при пожаре. Кабинет объемом 240 м^3 расположен на третьем этаже в непосредственной близости от лестничной клетки. Лестничные клетки имеют ширину 2,4 м и длину 10 м. В кабинете работает 4 человека. Всего на этаже работают 22 сотрудника, на втором этаже – 24, на первом – 26. Схема эвакуации из здания представлена на рисунке 5.2.

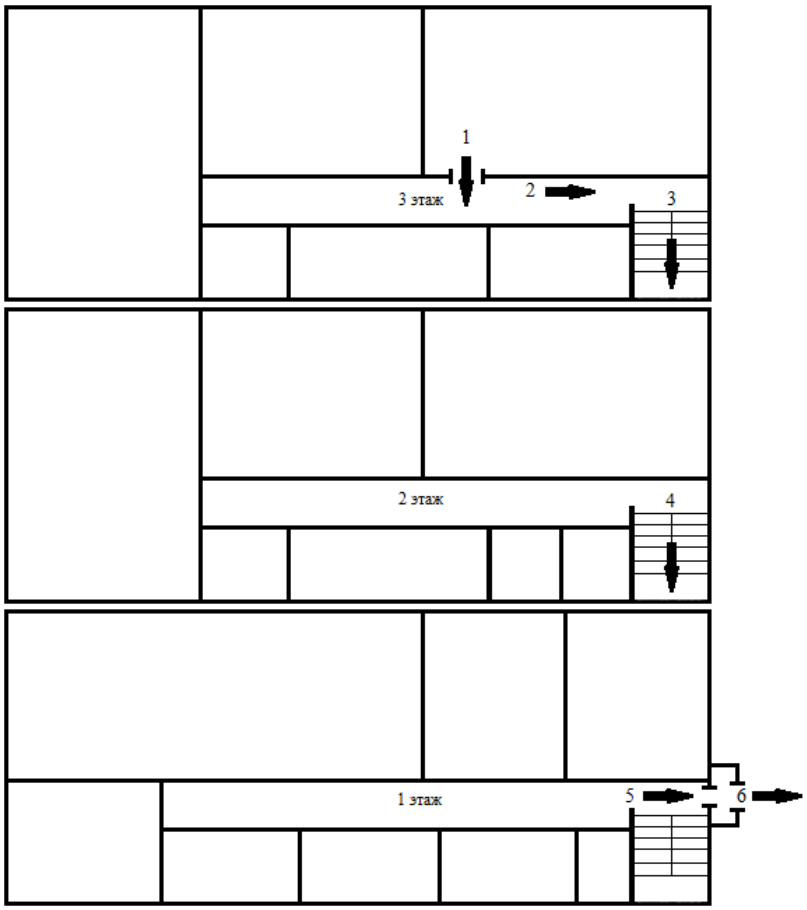

Рисунок 5.2 – Схема эвакуации сотрудников из здания (1,2,3,4, 5, 6 – этапы эвакуации)

Время достижения критических для человека температур и концентраций кислорода на пожаре именуется критической продолжительностью пожара и обозначается $\tau_{кр}$.

Критическая продолжительность пожара по температуре рассчитывается по формуле

$$\tau_{кр} = \sqrt[3]{\frac{W_{пом} \cdot c \cdot (t_{кр} - t_н)}{(1-\varphi) \cdot \pi \cdot Q \cdot n \cdot V^2}}, \qquad (5.16)$$

где $W_{пом}$ – объем воздуха в рассматриваемом помещении, м^3;

c – удельная изобарная теплоемкость газа, кДж/кг-град;

$t_{кр}$ – критическая для человека температура, равная 70°С;

$t_Н$ – начальная температура воздуха, °С;

φ– коэффициент, характеризующий потери тепла на нагрев конструкций и окружающих предметов принимается в среднем равным 0,5;

Q – теплота сгорания веществ, кДж/кг, (таблица 5.2);

n – весовая скорость горения, кг/м^2-мин (таблица 5.2);

V – линейная скорость распространения огня по поверхности горючих веществ, м/мин (таблица 5.3).

В качестве материала сгорания выбираем древесину (мебель в жилых и администр-х зданиях 8–10%), так как в аппаратном зале имеется 4 рабочих места, изготовленных их древесины.

Свободный объем помещения соответствует разности между геометрическим объемом и объемом оборудования или предметов, находящихся внутри. Если рассчитывать свободный объем невозможно, допускается принимать его равным 80% геометрического объема.

$$W_{пом} = 6 \cdot 10 \cdot 4 = 240 \text{ (м}^3\text{)}.$$

Удельная теплоемкость сухого воздуха при атмосферном давлении 760 мм. рт. ст., составляет 1005 кДж/кг-град при температуре от 0 до 60°С и 1009 кДж/кг-град при температуре от 60 до 120°С.

$$\tau_{кр} = \sqrt[3]{\frac{W_{пом} \cdot c \cdot (t_{кр} - t_н)}{(1-\varphi) \cdot \pi \cdot Q \cdot n \cdot V^2}} = \sqrt[3]{\frac{192 \cdot 1009 \cdot (70-20)}{(1-0{,}5) \cdot 3{,}14 \cdot 13800 \cdot 14 \cdot (0{,}36)^2}} = \sqrt[3]{246{,}41} = 6{,}27 (мин).$$

Таблица 5.2 – Средняя скорость выгорания и теплота сгорания веществ и материалов

Вещества и материалы	Весовая скорость горения, кг/м^2 – мин.	Теплота сгорания, кДж-кг
1	2	3
Бензин	61,7	41870
Ацетон	44,0	28890
Диэтиловый спирт	60,0	33500

Продолжение таблицы 5.2

1	2	3
Керосин	48,3	43540
Древесина (бруски) 13,7%	39,3	13800
Древесина (мебель в жилых и административных зданиях 8–10%)	14,0	13800
Бумага разрыхленная	8,0	13400

Таблица 5.3 – Линейная скорость распространения пламени на поверхности материалов

Материал	Линейная скорость распространения пламени по поверхности, м-мин
Угары текстильного производства в разрыхленном состоянии	10
Древесина (мебель в административных и других зданиях)	0,36
Текстильные изделия в закрытом складе при загрузке 100 кг/м^2	0,6
Бумага в рулонах в закрытом складе при загрузке 140 кг/м	0,5
Синтетический каучук в закрытом складе при загрузке свыше 230 кг/м	0,7
Печные ограждающие конструкции с утеплителем из заливочного ППУ	7,5–10

Критическая продолжительность пожара по концентрации кислорода рассчитывается по формуле

$$\tau^{O_2}{}_{кр} = \sqrt[3]{\frac{(0{,}01)^{-1} \cdot W_{пом}}{\pi \cdot n \cdot W_{O_2} \cdot V^2}}, \qquad (5.17)$$

где W_{O_2} – расход кислорода на сгорание 1 кг горючих веществ, м /кг, равная 4,76 об мин.

$$\tau^{O_2}{}_{кр} = \sqrt[3]{\frac{(0{,}01)^{-1} \cdot W_{пом}}{\pi \cdot n \cdot W_{O_2} \cdot V^2}} = \sqrt[3]{\frac{100 \cdot 192}{3{,}14 \cdot 14 \cdot 4{,}76 \cdot (0{,}36)^2}} = \sqrt[3]{708} = 8{,}91(мин).$$

Минимальная продолжительность пожара по температуре составляет

6,27 мин. Допустимая продолжительность эвакуации для данного помещения

$$\tau_{доп} = m \cdot \tau_{кр} = 1 \cdot 6{,}27 = 6{,}27(мин), \quad (5.18)$$

где $\tau_{доп}$ и $\tau_{кр}$ – соответственно допустимая продолжительность эвакуации и критическая продолжительность пожара при эвакуации, мин;

m – коэффициент безопасности, зависящий от степени противопожарной защиты здания, его назначения и свойств горючих веществ, образующихся в производстве или являющихся предметом обстановки помещений или их отделки. В производственных зданиях при отсутствии средств автоматического тушения и оповещения о пожаре *m*= 1,0.

Время задержки начала эвакуации принимается 4,1 мин по таблице 5.4 с учетом того, что здание не имеет автоматической системы сигнализации и оповещения о пожаре.

Таблица 5.4 – Время задержи начала эвакуации

Тип и характеристика здания	Время задержи начала эвакуации, мин, при типах систем оповещения			
	W1	W2	W3	W4
Административные, торговые и производственные здания (посетители находятся в бодрствующем состоянии, знакомы с планировкой здания и процедурой эвакуации)	<1	3	>4	<4
Магазины, выставки, музеи, досуговые центры и др., (посетители находятся в бодрствующем состоянии, но не знакомы с планировкой здания и процедурой эвакуации)	<2	3	>6	<6
Общежития, интернаты (посетители могут находиться в состоянии сна, но знакомы с планировкой здания и процедурой эвакуации)	<2	4	>5	<5
Отели и пансионаты (посетители могут находиться в состоянии сна, и быть не знакомыми с планировкой здания и процедурой эвакуации)	<2	4	>6	<5
Госпитали, дома престарелых и др., (значительное число посетителей может нуждаться в помощи)	<3	5	>8	<8
Примечание - Характеристика системы оповещения: W1 – оповещение и управление эвакуацией оператором; W2 – использование записанных заранее типовых фраз и информационных табло; W3 – сирена пожарной сигнализации; W4 – без оповещения.				

Для определения времени движения людей по первому участку, с учетом габаритных размеров помещения 6×10 м, определяется плотность движения людского потока на первом участке по формуле

$$D_1 = \frac{N_1 \cdot f}{L_1 \cdot b_1}, \qquad (5.19)$$

где N_1 – число людей на первом участке, чел.;

f – средняя площадь горизонтальной проекции человека, принимаемая по таблице 5.5, м^2/чел.;

L_1 и b_1 – длина и ширина первого участка пути, м.

$$D_1 = \frac{N_1 \cdot f}{L_1 \cdot b_1} = \frac{4 \cdot 0{,}1}{6 \cdot 10} = 0{,}007(м^2 / м^2).$$

Таблица 5.5 – Площади горизонтальной проекции человека

Возраст, одежда человека и вид груза	Площадь горизонтальной проекции человека f, м^2
Взрослый человек: в летней одежде в зимней одежде с ребенком на руках с рюкзаком	 0,10 0,125 0,285 0,315
Подросток	0,07
Ребенок	0,04—0,05

По таблице 5.6 скорость движения составляет 100 м/мин, интенсивность движения 1 м/мин, т.о., время движения по первому участку

$$t_1 = \frac{L_1}{V_1} = \frac{6}{100} = 0{,}06(мин), \qquad (5.20)$$

где L_1 – длина первого участка пути, м;

V_1 – значение скорости движения людского потока по горизонтальному пути на первом участке, определяется в зависимости от относительной плотности D, м^2/м^2.

Таблица 5.6 – Зависимость скорости и интенсивности движения от плотности людского потока

Плотность потока D, м^2/м^2	Горизонтальный путь		Дверной проем	Лестница вниз		Лестница вверх	
	V, м/ми	q> м/ми	q, м/мин	V, м/ми	q, м/ми	V, м/ми	q, м/ми

	н	н		н	н	н	н
0,01	100	1,0	1,0	100	1,0	60	0,6
0,05	100	5,0	5,0	100	5,0	60	3,0
0,1	80	8,0	8,7	95	9,5	53	5,3
0,2	60	12,0	13,4	68	13,6	40	8,0
0,3	47	14,1	15,6	52	16,6	32	9,6
0,4	40	16,0	18,4	40	16,0	26	10,4
0,5	33	16,5	19,6	31	15,6	22	11,0
0,6	27	16,2	19,0	24	14,4	18	10,6
0,7	23	16,1	18,5	18	12,6	15	10,5
0,8	19	15,2	17,3	13	10,4	10	10,0
0,9 и более	15	13,5	8,5	10	7,2	8	9,9
Примечание - Табличное значение интенсивности движения в дверном проеме при плотности потока 0,9 и более, равное 8,5 м/мин, установлено для дверного проема шириной 1,6 м и более							

Длина дверного проема принимается равной нулю. Наибольшая возможная интенсивность движения в проеме в нормальных условиях q_{max}=19,6 м/мин, интенсивность движения в проеме шириной 0,7 м рассчитывается по формуле

$$q_i = 2{,}5 + 3{,}75 \cdot b = 2{,}5 + 3{,}75 \cdot 1{,}1 = 6{,}62(м/мин), \qquad (5.21)$$

где b - ширина проема.

$q_i < q_{max}$, поэтому движение через проем проходит беспрепятственно.

Время движения через проем определяется как частное деления количества людей в потоке на пропускную способность проема

$$t_{d1} = \frac{N \cdot f}{q \cdot b}, \qquad (5.22)$$

$$t_{d1} = \frac{N \cdot f}{q \cdot b} = \frac{4 \cdot 0{,}1}{6{,}62 \cdot 0{,}7} = 0{,}09(мин).$$

Так как на третьем этаже работает 22 человек, плотность людского потока третьего этажа составит

$$D_2 = \frac{N_2 \cdot f}{L_2 \cdot b_2} = \frac{22 \cdot 0{,}1}{19{,}3 \cdot 3} = 0{,}04(м^2/м^2).$$

По таблице 5.6 скорость движения составляет 100 м/мин, интенсивность движения 5 м/мин, т.о., время движения по второму участку (из коридора на лестницу):

$$t_2 = \frac{L_2}{V_2} = \frac{19{,}3}{100} = 0{,}2(мин).$$

Для определения скорости движения по лестнице рассчитывается интенсивность движения на третьем участке по формуле

$$q_i = \frac{q_{i-1} \cdot b_{i-1}}{b_i} = \frac{5 \cdot 3}{2{,}4} = 6{,}25(м/мин). \qquad (5.23)$$

где b_i, b_{i-1} – ширина рассматриваемого i-го и предшествующего ему участка пути, м;

q_i, q_{i-1} – значения интенсивности движения людского потока по рассматриваемому i-му и предшествующему участкам пути, м/мин.

При этом значение q_{max} следует принимать равным 16,0м/мин при движении по лестницам вниз.

$q_i < q_{max}$, поэтому движение по лестнице проходит беспрепятственно.

Скорость людского потока снижается и составляет примерно 95 м/мин. Время движения по лестнице вниз (3-й участок)

$$t_3 = \frac{L_3}{V_3} = \frac{10}{95} = 0{,}1(мин).$$

При переходе на второй этаж происходит смешивание с потоком людей, двигающихся по второму этажу. Плотность людского потока для второго этажа

$$D_3 = \frac{N_3 \cdot f}{L_3 \cdot b_3} = \frac{24 \cdot 0{,}1}{19{,}3 \cdot 3} = 0{,}04(м^2/м^2),$$

при этом интенсивность движения составит около 5 м/мин.

При переходе на 4-й участок происходит слияние людских потоков, поэтому интенсивность движения определяется по формуле

$$q_i = \frac{\sum q_{i-1} \cdot b_{i-1}}{b_i} = \frac{(5{,}6 \cdot 2{,}4) + (5 \cdot 3)}{2{,}4} = 11{,}9(м/мин), \qquad (5.24)$$

где q_{i-1} – интенсивность движения людских потоков, сливающихся в начале участка, м/мин;

b_{i-1} – ширина участков пути слияния, м;

b_i – ширина рассматриваемого участка пути, м.

$q_i < q_{max}$, поэтому движение по лестнице проходит беспрепятственно.

На лестнице скорость людского потока равняется 68 м/мин. Время движения по лестнице вниз (4-й участок)

$$t_4 = \frac{L_4}{V_4} = \frac{10}{68} = 0{,}15(мин).$$

При переходе на первый этаж происходит смешивание с потоком людей, двигающихся по первому этажу. Плотность людского потока для первого этажа

$$D_4 = \frac{N_4 \cdot f}{L_4 \cdot b_4} = \frac{24 \cdot 0{,}1}{21{,}3 \cdot 3} = 0{,}04(м^2 / м^2),$$

при этом интенсивность движения составит около 5 м/мин.

При переходе на 5-й участок происходит слияние людских потоков, поэтому интенсивность движения определяется по формуле

$$q_i = \frac{\sum q_{i-1} \cdot b_{i-1}}{b_i} = \frac{(11{,}2 \cdot 2{,}4) + (5 \cdot 3)}{2{,}4} = 17{,}5(м / мин).$$

q_{max} для дверных проемов равно 19,6 м/мин.

$q_i < q_{max}$, поэтому движение через дверной проем проходит беспрепятственно.

Время движения через дверной проем

$$t_{d2} = \frac{N \cdot f}{q \cdot b} = \frac{72 \cdot 0{,}1}{6{,}62 \cdot 1{,}1} = 0{,}06(мин).$$

Тамбур при выходе на улицу имеет длину 2 метра, на этом участке образуется максимальная плотность людского потока, поэтому согласно данным таблицы 5.6 скорость падает до 15 м/мин, а время движения по тамбуру составит

$$t_5 = \frac{L_5}{V_5} = \frac{2}{15} = 0{,}13(мин).$$

При данной плотности людского потока интенсивность движения через дверной проем на улицу шириной более 1,6 м – 8,5 м/мин, время движения через него:

$$t_{d2} = \frac{N \cdot f}{q \cdot b} = \frac{143 \cdot 0{,}1}{8{,}5 \cdot 2} = 0{,}8(мин).$$

Расчетное время эвакуации рассчитывается по формуле

$$t_p = t_{н.э.} + t_1 + t_{d1} + t_2 + t_3 + t_4 + t_{d2} + t_5 + t_6 + t_{d3} = 4{,}1 + 0{,}06 + 0{,}09 + 0{,}2 + 0{,}1 + 0{,}15 + 0{,}06 + 0{,}13 + 0{,}8 = 5{,}69(мин).$$

5.5 Выводы по части безопасности жизнедеятельности

Таким образом, расчетное время эвакуации из кабинетов здания меньше допустимого (5,69<6,27 мин). Здание не нужно оборудовать системой оповещения о пожаре, средствами автоматической сигнализации.

Аппаратный же зал является объектом особой важности, так как в нем находится дорогостоящее электронное оборудование и крайне важно обеспечить бесперебойный контроль технологических процессов. Наличие особо ценного оборудования и возможность присутствия людей в помещении – два определяющих фактора при выборе системы автоматического газового (хладонового) пожаротушения. Огнетушащее вещество (хладон 227еа) помимо тушения огня обеспечивает максимальную сохранность защищаемого оборудования и при этом не представляет угрозы здоровью и жизни людей, которые могут оказаться в помещении в момент срабатывания системы пожаротушения.

6 Бизнес-план

6.1 Резюме

Основу транзита через воздушное пространство Казахстана составляют полеты авиакомпаний стран СНГ и дальнего зарубежья, выполняющих авиаперевозки из Европы и России в государства Юго-Восточной и Центральной Азии. Объем распределяется по нескольким трансконтинентальным маршрутам, проходящим по трем основным направлениям: через воздушное пространство нашей республики; севернее его, по территории России, Монголии и Китая; а также южнее, через Черное море, страны Закавказья и Иран. При этом использование тех или иных альтернативных маршрутов определяется исключительно авиакомпаниями в зависимости от таких факторов, как экономическая выгодность и безопасность полетов. Ориентация на транзитные полеты иностранных авиакомпаний диктует и основные требования к параметрам национальной аэронавигационной системы. К основным из них можно отнести соответствие стандартам и рекомендуемой практике ИКАО, а также выполнение требований Международной конвенции о международной гражданской авиации, предъявляемых ко всем системам, применяемым в гражданской авиации и которые обязано соблюдать государство, присоединившееся к данной конвенции. Только такой подход к созданию и содержанию национальной аэронавигационной инфраструктуры обеспечивает ее признание в качестве пригодной и привлекательной для выполнения полетов через воздушное пространство Казахстана.

Данный дипломный проект предполагает возможность внедрения системы ЛККС-А-2000 в аэропортах Казахстана. Внедрение данной системы

предполагает закуп нового оборудования и технологии, что даст возможность принимать любые типы воздушных судов, предоставляя при этом первоклассное радионавигационное обслуживание. Также, что не мало, важно система является автономной. При ее использовании отсутствует необходимость периодических облетов и какого-либо человеческого вмешательства в процесс функционирования.

6.2 Описание продукции

Система ЛККС-А-2000 обеспечивает не категорированные (NPA, APVI, APVII) и категорированные (CAT I, CAT II и в перспективе CAT III) заходы на посадку с обоих курсов всех ВПП аэродрома и реализация стандартных схем прибытия и вылета (SID, STAR).

Контроль целостности сигналов GPS/ГЛОНАСС и передача на воздушное судно блоков посадочных данных (FAS) и дифференциальных поправок осуществляет согласно таблице с характеристиками оборудования.

ЛККС-А-2000 осуществляет регистрацию и хранение данных о состоянии GPS/ГЛОНАСС (ГНСС) в зоне обслуживания в соответствии с требованиями Организацией Воздушного Движения (ОрВД), обеспечивает метровую точность навигации. Преимущества:

– стоимость 1 ЛККС-А-2000 не превышает 500 тыс. долларов (США)

– работа по двум созвездиям ГЛОНАСС и GPS;

– уменьшение времени полёта за счёт плавной посадки (комфортабельность пассажиров);

– экономия затрат на топливо;

– экологически меньший выброс CO_2;

– сохранение и экономия ресурса двигателей самолётов;

– круговая зона обслуживания и обеспечение одной станцией заходов с обоих курсов всех ВПП аэродрома;

– снижение метеоминимума (RNP-0.02/40), особенно для горных аэродромов, буровых площадок и вертодромов в сложных метеоусловиях (СМУ);

– значительное снижение стоимости оборудования ближней навигации и систем захода на посадку;

– значительное уменьшение эксплуатационных расходов (0,9 кВт);

– отсутствие необходимости сезонных облетов;

– сокращение полетного времени и экономия топлива за счет реализации схем криволинейных заходов (SID, STAR, P-RNAV);

– снижение требований к посадочным огням;

– уменьшение высоты пролета над препятствиями;

– повышение пропускной способности аэродрома;

– отсутствие общестроительных работ и возможность установки станции в любом месте аэродрома в течение нескольких дней;

– в комплект поставки входят схемы заходов на посадку, и геодезическая съемка для блоков FAS;

– улучшение экологической обстановки в зоне аэродрома.

– эффективный радиус действия 250 км одной ЛККС.

6.3 Организационный план

ЛККС-А-2000 оценивается в 500 тыс. долларов США или 219 700 000 тг. В эту стоимость входит установка и настройка оборудования, установка антенны на высоту выше 3х метров и расстояниями между парами 1,5 метра, а также замеры торцов ВПП с геодезическим приёмником, который собирает данные за несколько часов и анализирует их точность. Необходимости в земляных и прочих трудоёмких работах отсутствует. Для ЛККС-А-2000 необходимо лишь помещение для самой станции, и установка системы вентиляции или кондиционирования. В Казахстане насчитывается 24 основных аэропорта, следовательно, 219 700 000 * 24 = 5 272 800 000 тг.

6.4 Производственный план

Сроки модернизации (монтажа и настройки нового оборудования): 01.01.2021г. – 01.08.2021г.

Осуществлением проекта будет заниматься российская научно-производственная фирма ООО «НППФ Спектр», являющаяся единственным поставщиком и организацией, устанавливающей и обслуживающей оборудование ЛККС-А-2000. Данной компании необходимо установить и настроить оборудование, а также разместить на определенных промежутках антенны.

6.5 Маркетинговый план

Необходимы мероприятия по предоставлению товара на рынок. Это такие меры, как:

– проектирование и выпуск PR-проекта «ЛККС-А-2000 в Казахстане»;

– размещение рекламных графических материалов в печатных средствах массовой информации;

– создание видеоматериалов для наглядной демонстрации возможностей системы ЛККС-А-2000.

6.6 Финансовый план

6.6.1 Расчет капитальных затрат. Для того, чтобы оценить экономическую эффективность проекта проектирования необходимо:

– рассчитать капитальные затраты;

– произвести расчет доходов;

– определить численность рабочего персонала для обслуживания оборудования;

– произвести расчет затрат

Общие капитальные вложения

$$\Sigma К = К_0 + К_{ТР} + К_М + К_П, \quad (6.1)$$

где $К_0$ – капитальные вложения на приобретение оборудования (линейных, стационарных и др.);

$К_{ТР}$ – капитальные вложения на транспортные расходы (5-10% от стоимости оборудования);

Км – капитальные вложения на монтажные работы;

$К_П$ – капитальные вложения на проектирование и разработку проекта.

Транспортные расходы (5% от общей стоимости оборудования $К_0$) рассчитываются по формуле

$$К_{ТР} = 0,05 \cdot К_0 = 0,05 \cdot 5\ 272\ 800\ 000 = 263\ 640\ 000 \text{ (тг)}. \quad (6.2)$$

Расходы за монтаж оборудования и налаживание пуска работы, производимые инженерами-монтажниками, так же составляют 5% от общей стоимости оборудования

$$К_М = 0,05 \cdot К_0 = 0,05 \cdot 5\ 272\ 800\ 000 = 263\ 640\ 000 \text{ (тг)}. \quad (6.3)$$

Расходы на проектирование и разработку проекта равны 2% от общей стоимости оборудования и рассчитываются по следующей формуле

$$К_П = 0,02 \cdot К_0 = 0,02 \cdot 5\ 272\ 800\ 000 = 105\ 456\ 000 \text{ (тг)}. \quad (6.4)$$

Общая сумма капиталовложений для реализации проекта составит

$$\sum К = 5\ 272\ 800\ 000 + 263\ 640\ 000 + 263\ 640\ 000 + 105\ 456\ 000 = \\ = 5\ 905\ 536\ 000 \text{ (тг)}.$$

6.6.2 Расчет эксплуатационных расходов. К эксплуатационным затратам ($Э_Р$) относятся материальные, эксплуатационные на оплату труда и накладные расходы. К материальным расходам относятся затраты на покупку материалов, электроэнергию, амортизационные отчисления. Эксплуатационные расходы на оплату труда включают в себя социальные налоги и фонд оплаты труда. Накладные расходы – это хозяйственно-управленческие расходы, составляют 75% от эксплуатационных расходов на оплату труда работников.

$$Э_Р = Э_М + Э_{ФОТ} + Э_{НР}, \quad (6.5)$$

где $Э_М$ – материальные затраты:

$$Э_М = Э_{МАТ} + Э_{Э/Э} + А, \quad (6.6)$$

где $Э_{МАТ}$ – статья затрат на покупку материалов;

$Э_{Э/Э}$ – статья затрат на электроэнергию;

А – амортизационные отчисления.

$$Э_{ФОТ} = ФОТ + С_Н, \quad (6.7)$$

где $Э_{ФОТ}$ – эксплуатационные расходы на оплату сотрудников;

ФОТ – фонд оплаты труда;

$С_Н$ – отчисления на социальный налог.

$$Э_{НР} = 0,75 \cdot Э_{ФОТ}. \quad (6.8)$$

6.6.3 Расчет материальных затрат. Затраты на покупку материалов составляют 0,5% от общей суммы капиталовложений

$$Э_{МАТ} = 0,005 \cdot К, \quad (6.9)$$

$$Э_{МАТ} = 0,005 \cdot 5\,905\,536\,000 = 29\,527\,680 \text{ (тг)}.$$

Затраты на электроэнергию – это расходы на электроэнергию производственного оборудования на дополнительные нужды. Так как необходимо, чтобы оборудование работало круглосуточно суммарные затраты рассчитываются по следующей формуле

$$Э_{Э/Э} = W \cdot T \cdot S, \quad (6.10)$$

где W – потребляемая мощность, 0,25 кВт;

T – общее время работы, 8760 часов в год (круглосуточно);

S – тариф на электроэнергию, тг/кВтч.

Тариф на электроэнергию варьируется от времени суток:

– дневная зона (с 07 до 17 часов) – 16,63 тг/кВтч;

– вечерняя зона (с 17 до 23 часов) – 30,46 тг/кВтч;

– ночная зона (с 23 часов до 07 часов) – 5,43 тг/кВтч.

$$Э_{э/э} = 0,25 \cdot 8760 \cdot \frac{16,63 \cdot 10 + 30,46 \cdot 6 + 5,43 \cdot 8}{24} = 35815,6 \text{ (тг)}.$$

Для отрасли связи норма амортизации составляет 25%. Амортизационные отчисления рассчитываются следующим образом

$$А = Н_А \cdot К_\Sigma, \quad (6.11)$$

где $Н_А$ – норма амортизации, 25%;

$К_\Sigma$ – общая сумма капиталовложений.

$$А = 0,25 \cdot 5\ 905\ 536\ 000 = 1\ 476\ 384\ 000 \text{ (тг)}.$$

Согласно формуле 5.6 материальные затраты равны

$$Э_М = 29\ 527\ 680 + 35\ 815,6 + 1\ 476\ 384\ 000 = 1\ 505\ 947\ 495,6 \text{ (тг)}.$$

6.6.4 Расчет накладных и эксплуатационных расходов. Накладные расходы составляют 75% от эксплуатационных расходов на оплату труда (формула 5.8)

$$Э_{НР} = 0,75 \cdot 21\ 024\ 000 = 15\ 768\ 000 \text{ (тг)},$$

$$Э_{ФОТ} = (400\ 000 \cdot 10 \cdot 12) + 0,095 \cdot (400\ 000 \cdot 10 \cdot 12) = 21\ 024\ 000 \text{ (тг)}.$$

Теперь найдем общую сумму эксплуатационных расходов по формуле 6.5

$$Э_Р = 1\ 505\ 947\ 495,6 + 21\ 024\ 000 + 15\ 768\ 000 = 1\ 542\ 739\ 495,6 \text{ (тг)}.$$

Результаты расчетов сведены в таблицу 6.1.

Таблица 6.1 – Эксплуатационные расходы за год

Виды затрат	Сумма затрат, тг
Материальные расходы	1 505 947 495,6
В том числе:	
– расходы на приобретение материалов	29 527 680
– расходы на электрическую энергию	35 815,6
– амортизационные отчисления	1 476 384 000
Эксплуатационные расходы на оплату труда	21 024 000
В том числе:	
– ФОТ	19 200 000
– отчисления социального налога	1 824 000
Накладные расходы	15 768 000
Итого	1 542 739 495,6

6.6.5 Расчет доходов. Годовой доход рассчитывается по следующей формуле

$$D = Q \cdot Ц \cdot k, \qquad (6.12)$$

где Q – количество предоставленной корректирующей информации и услуг, Q = 560 р/сутки;

Ц – цена корректирующей информации и услуг, Ц = 1450 тг/час;

k = 8760 часов.

$$D = 560 \cdot 1450 \cdot 8760 = 7\ 113\ 120\ 000 \text{ (тг)}.$$

Теперь определим экономическую эффективность. Найдем сумму прибыли от хозяйственной деятельности по следующей формуле

$$П = D – Э_Р, \tag{6.13}$$

$$П = 7\ 113\ 120\ 000 – 1\ 542\ 739\ 495{,}6 = 5\ 570\ 380\ 504{,}4 \text{ (тг)}.$$

Рассчитаем подоходный налог, для юридических лиц он составляет 20% от суммы прибыли

$$Н_П = П \cdot 0{,}2, \tag{6.14}$$

$$Н_П = 5\ 570\ 380\ 504{,}4 \cdot 0{,}2 = 1\ 114\ 076\ 100{,}88 \text{ (тг)}.$$

Теперь определим сумму чистой прибыли

$$Ч_Д = П – Н_П, \tag{6.15}$$

$$Ч_Д = 5\ 570\ 380\ 504{,}4 – 1\ 114\ 076\ 100{,}88 = 4\ 456\ 304\ 403{,}52 \text{ (тг)}.$$

6.6.6 Расчет показателей экономической эффективности. При строительстве нового проекта коэффициент абсолютной экономической эффективности рассчитывается следующим образом

$$E_a = \frac{Ч_Д}{K}, \tag{6.16}$$

где Чд – чистый доход;

К – общая сумма капиталовложений.

$$E_a = \frac{4\,456\,304\,403{,}52}{5\,905\,536\,000} = 0{,}75.$$

Срок окупаемости капиталовложений – это срок возвратности средств. Это число является показателем, обратным коэффициенту абсолютной экономической эффективности и рассчитывается следующим образом

$$T = \frac{1}{E_a}, \qquad (6.17)$$

$$T = \frac{1}{0,75} = 1,3 \text{ года.}$$

6.7 Выводы по экономической части

Исходя из проведенных расчетов и их анализа, можно с уверенностью сделать вывод, что данный дипломный проект будет экономически выгодным и эффективным.

Необходимо отметить, что срок окупаемости не должен превышать 5 лет. В данном проекте срок окупаемости составит 1 год и 3 месяца.

Капиталовложение предприятия составит 5 905 536 000 тенге, эксплуатационные расходы составят 1 542 739 495,6 тенге, чистая прибыль предприятия составит 4 456 304 403,52 тенге.

Данные расчеты позволяют сделать вывод, что применение системы ЛККС-А-2000 в аэропортах Республики Казахстан является экономически эффективным решением.

Заключение

Перспективы развития спутниковой навигации достигают большей точности при совершенствовании систем функциональных дополнений, таких как геостационарных спутников, наземных локальных дополнений и др. Подводя итоги по проведенной работе, можно сделать выводы, что существующие системы посадки уступают новейшим технологиям не только в экономическом плане, но и в техническом прогрессе. Внедрение систем наземных функциональных дополнений во всех аэропортах страны позволяет масштабно контролировать воздушное пространство Казахстана, как во время посадки, так и во время полета в пределах прямой видимости. Создание региональной системы распространения дифференциальных поправок к навигационных данным, позволяет пилотам пространственно видеть свои координаты в воздушном трехмерном пространстве. Заявленные напряженности поля в точке приема практически в двое ниже полученной напряженности расчетным путем, это может говорить о том, что не были учтены какие-либо ослабления сигналов в погодных условиях и затухания сигналов из-за рельефа местности. Развитие навигации на территории Казахстан является важной частью технического прогресса страны.

Список сокращений

АПДД	Аппаратура приема дифференциальных данных
АСН	Аппаратура спутниковой навигации
БМС	Бортовая мобильная станция спутниковой навигации
ВС	Воздушное судно
ВТ	Высокая точность
ГЛОНАСС	Глобальная навигационная спутниковая система
ДН	Диаграмма направленности
ИКАО	Интернациональная организация гражданской авиации
КА	Космический аппарат
ККС	Контрольно-корректирующая станция
ЛДПС	Локальная дифференциальная подсистема
ЛККС	Локальная контрольно-корректирующая станция
НАП	Навигационная аппаратура потребителя
НКА	Навигационный космический аппарат
ПКА	Подсистема космических аппаратов
ПКУ	Подсистема контроля и управления
РМ	Радиомаяк
СКО	Среднеквадратическое отклонение
СРНС	Спутниковые радионавигационные системы
СТ	Стандартная точность
ШГС	Широкозонная главная станция
ШКС	Широкозонная контрольная станция
AAIM	Бортовой метод контроля целостности
ABAS	Бортовые функциональные дополнения навигации
DGPS	Дифференциальная GPS
EGNOS	Европейская геостационарная служба навигационного покрытия
GBAS	Наземные функциональные дополнения навигации
GIC	Интегрированный канал GPS
GPS	Глобальная система позиционирования
GRAS	Региональные функциональные дополнения навигации
ILS	Курсоглиссадная система посадки
LAAS	Локальная система распространения дифференциальных поправок
MSAS	Многофункциональная система дополнения спутникового базирования
RAIM	Автономный метод контроля целостности
RDS	Система FM-радиовещания данных
SBAS	Геостационарные функциональные дополнения навигации
WAAS	Глобальная система распространения дифференциальных поправок

Список литературы

1 Рекомендация МСЭ-R RA.1031-2. [Электронный ресурс] // Защита радиоастрономической службы в полосах частот, используемых совместно с другими службами. 1995. URL: http://www.itu.int › itu-r › rec › ra › r-rec-ra.1031-2-200706-i!Pdf-r.pdf (дата обращения 04.02.2020).

2 ГЛОНАСС. Интерфейсный контрольный документ. Навигационный радиосигнал в диапазонах L1, L2 (редакция 5.1). [Электронный ресурс] // Российский научно-исследовательский институт космического приборостроения. 2008. URL: https://b-ok.org/book/3224867/8179bf (дата обращения 04.02.2020).

3 Харисова В.Н. Глобальная спутниковая радионавигационная система ГЛОНАСС. – М: Наука, 1998.

4 Шебшаевич В.С. Сетевые спутниковые радионавигационные системы. – М: «Радио и связь», 1993.

5 Кшиштов В. Системы подвижной радиосвязи. – М: Горячая линия – Телеком, 2006.

6 Вишневский В.И. Исторический очерк развития сетевых технологий // Широкополосные сети передачи информации. – Монография (издание осуществлено при поддержке Российского фонда фундаментальных исследований). – М: Техносфера, 2005. – 592 с.

7 Каменский Н.Н. Справочник по радиорелейной связи. – М: Радио и связь, 1981. – 416 с.

8 Карлащук В.И. Спутниковая навигация. Методы и средства. – М: Солон-Пресс, 2006. – 176 с.

9 Одуан К. Измерение времени. Основы GPS. – М: Техносфера, 2002. – 383 с.

10 Хакимжанов Т. Е. Расчет систем пожаротушения. Дипломное проектирование. Для студентов всех форм обучения всех специальностей. – Алматы: АИЭС, 2002. – 30 с.

11 Баклашова Н.И. Охрана труда на предприятиях связи и охрана окружающей среды: Учебник. – М: Радио и связь, 1999. – 288 с.

12 Ананьев В. А. Системы пожаротушения. Теория и практика: Учебное пособие. – М: Арина, 2000. – 416 с.

13 GPS. [Электронный ресурс] // Википедия. Свободная библиотека. URL: http://ru.wikipedia.org/wiki/GPS (дата обращения 23.01.2020).

14 Базылов К.Б. Методические указания по выполнению экономического раздела выпускной работы бакалавров. – Алматы: АИЭС, 2009. – 19 с.

15 Голубицкая Е. А. Экономика связи: Учебник для вузов. – М: Радио и связь, 2000.

16 Лобач В.С. Основы проектирования цифровых радиорелейных линий. – М: Радио и связь, 1989. – 238 с.

17 ГЛОНАСС. [Электронный ресурс] // Википедия. Свободная библиотека. URL: http://ru.wikipedia.org/wiki/ГЛОНАСС (дата обращения 23.01.2020).

18 Кульнев В., Михайлов С. Анализ направлений и состояния разработок функциональных дополнений к спутниковым радионавигационным системам. [Электронный ресурс] // Беспроводные технологии. 2008. URL: http://www.wireless-e.ru/articles/technologies/2006_3_61.php (дата обращения 10.02.2020).

Приложение А

Листинг программы

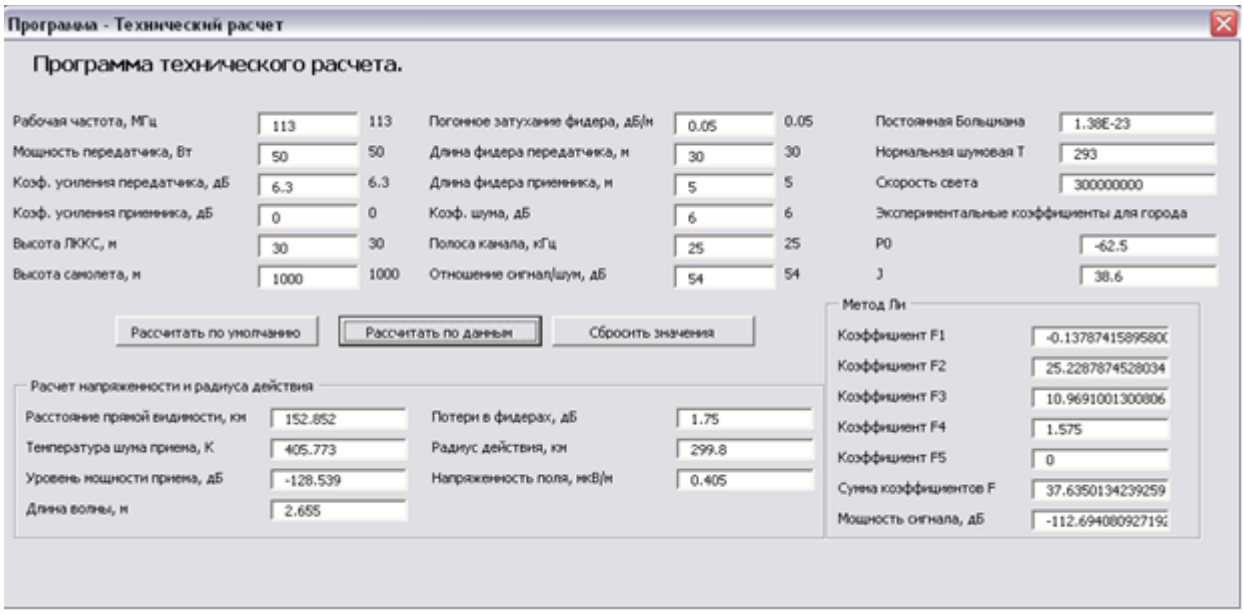

Рисунок А.1 – Окно программы расчета

```
Private Sub CommandButton1_Click()
' Радиус прямой видимости '
x1 = 4.12 * (Sqr(Val(TextBox5)) + Sqr(Val(TextBox6)))
ListBox1.AddItem Round(x1, 3)
' Шумовая температура '
x2 = 293 + (1200 / Val(TextBox1)) ^ 2
ListBox2.AddItem Round(x2, 3)
' Уровень принимаемой мощности '
kb = 1.38 * 10 ^ -23
x3 = 10 * Log(kb * x2 * Val(TextBox11) * 10 ^ 3) / Log(10) + Val(TextBox10) +
Val(TextBox12)
x3a = 10 * Log(10 ^ (x3 / 10) / 1000) / Log(10)
ListBox3.AddItem Round(x3a, 3)
' Длина волны '
c = 3 * 10 ^ 8
x4 = c / (Val(TextBox1) * 10 ^ 6)
ListBox4.AddItem Round(x4, 3)
' Потери в фидере '
x5 = Val(TextBox7) * Val(TextBox8) + Val(TextBox7) * Val(TextBox9)
ListBox5.AddItem Round(x5, 3)
' Радиус действия '
y1 = 10 * Log(Val(TextBox2)) / Log(10)
st = 10 ^ ((y1 - x3a + Val(TextBox3) + Val(TextBox4) - x5 - 18) / 20)
```

```
x6 = ((x4 / (4 * 3.14)) * st) / 1000
ListBox6.AddItem Round(x6, 3)
' Напряженность поля '
kpd = 1 - Val(TextBox7)
x7 = 222 * (Sqr((Val(TextBox2) / 1000) * Val(TextBox3) * kpd) / x6)
ListBox7.AddItem Round(x7, 3)
' Коэффициенты F '
f1 = 10 * Log((Val(TextBox5) / 30.48) ^ 2) / Log(10)
ListBox12.AddItem f1
f2 = 10 * Log((Val(TextBox6) / 3) ^ 1) / Log(10)
ListBox13.AddItem f2
f3 = 10 * Log(Val(TextBox2) / 4) / Log(10)
ListBox14.AddItem f3
f4 = Val(TextBox3) / 4
ListBox15.AddItem f4
f5 = Val(TextBox4)
ListBox16.AddItem f5
f0 = f1 + f2 + f3 + f4 + f5
ListBox17.AddItem f0
p0 = -62.5
g = 38.6
ListBox19.AddItem p0
ListBox20.AddItem g
r = 37
y5 = p0 - g * Log(r) / Log(10) - 3 * Log(Val(TextBox1) / 900) / Log(10) + f0
x8 = 10 * Log(10 ^ (y5 / 10) / 1000) / Log(10)
ListBox18.AddItem x8
End Sub

Private Sub CommandButton2_Click()
' Радиус прямой видимости '
x1 = 4.12 * (Sqr(30) + Sqr(1000))
ListBox1.AddItem Round(x1, 3)
' Шумовая температура '
x2 = 293 + (1200 / 113) ^ 2
ListBox2.AddItem Round(x2, 3)
' Уровень принимаемой мощности '
kb = 1.38 * 10 ^ (-23)
x3 = 10 * Log(kb * x2 * 25 * 10 ^ 3) / Log(10) + 6 + 54
x3a = 10 * Log(10 ^ (x3 / 10) / 1000) / Log(10)
```

```
ListBox3.AddItem Round(x3a, 3)
' Длина волны '
c = 3 * 10 ^ 8
x4 = c / (113 * 10 ^ 6)
ListBox4.AddItem Round(x4, 3)
' Потери в фидере '
x5 = 0.05 * 30 + 0.05 * 5
ListBox5.AddItem Round(x5, 3)
' Радиус действия '
y1 = 10 * Log(50) / Log(10)
st = 10 ^ ((y1 - x3a + 6.3 - x5 - 18) / 21.47)
x6 = ((x4 / (4 * 3.14)) * st) / 1000
ListBox6.AddItem Round(x6, 3)
' Напряженность поля '
kpd = 1 - 0.05
x7 = 222 * (Sqr((50 / 1000) * 6.3 * kpd) / x6) * 1000
ListBox7.AddItem Round(x7, 3)
ListBox9.AddItem 1.38 * 10 ^ -23
ListBox10.AddItem 293
ListBox11.AddItem 3 * 10 ^ 8
' Расчет метода Ли '
' Коэффициенты F '
f1 = 10 * Log((30 / 30.48) ^ 2) / Log(10)
ListBox12.AddItem f1
f2 = 10 * Log((1000 / 3) ^ 1) / Log(10)
ListBox13.AddItem f2
f3 = 10 * Log(50 / 4) / Log(10)
ListBox14.AddItem f3
f4 = 6.3 / 4
ListBox15.AddItem f4
f5 = 2
ListBox16.AddItem f5
f0 = f1 + f2 + f3 + f4 + f5
ListBox17.AddItem f0
p0 = -62.5
g = 38.6
ListBox19.AddItem p0
ListBox20.AddItem g
r = 37
n = 3
y5 = p0 - g * Log(r) / Log(10) - n * Log(113 / 900) / Log(10) + f0
x8 = 10 * Log(10 ^ (y5 / 10) / 1000) / Log(10)
```

```
ListBox18.AddItem x8
End Sub

Private Sub CommandButton3_Click()
' Очистить все переменные расчёта 1 '
ListBox1.Clear
ListBox2.Clear
ListBox3.Clear
ListBox4.Clear
ListBox5.Clear
ListBox6.Clear
ListBox7.Clear
ListBox12.Clear
ListBox13.Clear
ListBox14.Clear
ListBox15.Clear
ListBox16.Clear
ListBox17.Clear
ListBox18.Clear

End Sub
```