

**Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение  
высшего образования «Московский государственный технический  
университет гражданской авиации»**

**Факультет прикладной математики и вычислительной техники**

**Кафедра вычислительных машин, комплексов, систем и сетей**

**Пути выявления погрешностей навигационного и связного  
оборудования воздушного судна гражданской авиации при полётах в  
различных условиях**

Направление «Радиолокационные и навигационные системы при  
сопровождении воздушных судов»

Маслов Александр Константинович, студент 4 курса 1 группы направления  
подготовки 09.03.01 очной формы обучения

Эрич Мария Йовановна, студентка 4 курса 1 группы направления подготовки  
09.03.01 очной формы обучения

Научный руководитель: Затучный Д.А., доктор технических наук, доцент

Москва, 2020

## Содержание

1. Введение	3
2. Основная часть	4
2.1. Исследование проблемы	4
2.2. Построение алгоритма выявления навигационных погрешностей на основе комплексирования спутниковой радионавигационной системы и инерциальной навигационной системы	5
2.3. Выявление погрешностей навигационным системам воздушных судов гражданской авиации с использованием мобильных систем типа «МАРС-75»	7
2.4. Выявление погрешностей навигационным системам воздушных судов гражданской авиации на основе использования оптико-электронной системы	10
2.5. Алгоритм выявления погрешностей в радиосвязном канале на основе использования системы опорных оценок	12
2.6. Определение ошибок при обнаружении погрешностей в радиосвязном канале при голосовом обмене	16
3. Заключение	18
Список использованных источников	18
Приложение А. Программа выявления отказа навигационного космического аппарата при комплексировании спутниковой радионавигационной системы и инерциальной навигационной системы	20
Приложение Б. Программа выбора конфигурации размещения ультрафиолетовых маяков в зоне аэродрома	22
Приложение В. Акт внедрения алгоритма в ООО «НППФ Спектр»	24
Приложение Г. СВИДЕТЕЛЬСТВО о государственной регистрации программы для ЭВМ №2019666915 «Программа выбора расположения мобильных и стационарных навигационных систем, альтернативных спутниковым системам» (НЕСРНС)	25
Приложение Д. СВИДЕТЕЛЬСТВО о государственной регистрации программы для ЭВМ №2019666028 «Программа выбора конфигурации размещения псевдоспутников» (ПВКР ПС)	26

## 1. Введение (Автор – Маслов А.К.)

Постоянно возрастающая интенсивность воздушного движения во всём мировом воздушном пространстве и в Российской Федерации, в частности, предъявляет повышенные требования и к быстрому и точному определению навигационных характеристик воздушного судна гражданской авиации (ВС ГА). При этом следует отметить, что в настоящее время наметилась чёткая тенденция определения местоположения воздушного судна по спутниковым радионавигационным системам (СРНС). Несмотря на несомненные достоинства этих систем, спутниковый навигационный сигнал подвержен влиянию различных факторов, таких как подстилающая поверхность, погрешности, связанные с прохождением тропосферы и ионосферы, а также возможное отражение от различных искусственных наземных объектов. При этом, эти погрешности чаще всего случаются на этапах полёта, требующих ограниченного временного ресурса, в частности заход ВС на посадку, что также может привести к тяжёлым последствиям. Таким образом, в некоторых регионах и для некоторых условий полёта ВС возникает задача использования СРНС совместно с другими навигационными системами. При этом на сегодняшний день не имеется чётких рекомендаций по-быстрому и чёткому выявлению подобных навигационных погрешностей в зависимости от их природы и места возникновения.

В некоторых случаях выявление помехи на основе комплексирования СРНС и инерциальной навигационной системы (ИНС) не является эффективным методом и приходится разрабатывать другие алгоритмы на основе использования наземных средств радиотехнического обеспечения полётов. При этом следует отметить, что требования Международной организации гражданской авиации (ИКАО) не разрешают менять оборудование без прохождения процедуры обязательной сертификации в международных организациях, что является довольно дорогим и трудоёмким процессом.

Стандарты ИКАО предусматривают возможность использования сигналов СРНС GPS, комплексированных сигналов СРНС ГЛОНАСС и GPS, или сигналов СРНС ГЛОНАСС [1]. Следует отметить, что при внедрении полетов по GPS перерывы в ее навигационных сигналах в некоторых зонах стали достигать десятков минут. Проведенные оперативные исследования показали, что эти перерывы вызываются непреднамеренными помехами, возникающими в виде гармонических составляющих от радиосредств, действующих в соседних диапазонах радиоволн, либо от радиосредств, размещенных в пределах спектра навигационного сигнала.

Тот факт, что СРНС GPS подвержена различного рода помехам, обуславливает невозможность в ряде случаев ее применения для задач навигации, а СРНС ГЛОНАСС удовлетворяет требованиям помехоустойчивости. Это обусловлено тем, что в СРНС GPS предусмотрено кодовое разделение сигналов, а в СРНС ГЛОНАСС – частотное [2]. Таким образом, для ухудшения качества работы СРНС GPS достаточно поставить помеху на одной частоте, а в случае с СРНС ГЛОНАСС для достижения такого результата уже необходимо ставить несколько помех в диапазоне частот.

Использовать преимущества по помехоустойчивости СРНС ГЛОНАСС перед GPS довольно сложно, поскольку в настоящее время в России в гражданской авиации эксплуатируется в большинстве своем ВС иностранного производства. В основном это самолеты, выпускаемые фирмами Boeing и Airbus 320.

## **2. Основная часть**

### **2.1. Исследование проблемы (Автор – Маслов А.К.)**

Современные типы ВС используют на своём борту для навигационных определений (НО) навигационную аппаратуру потребителей (НАП), осуществляющую определение местоположения ВС по СРНС и автономную ИНС. На сегодняшний день 95% НАП, установленной на борту ВС отечественных авиакомпаний, оборудованы комплексными навигационными приёмниками, способными принимать сигналы СРНС и ИНС. Из оставшихся 5% воздушных судов – у 70% навигационная аппаратура потребителей может принимать сигналы только СРНС, а оставшиеся 30% могут осуществлять местоопределение только по ИНС.

При разработке алгоритмов выявления погрешностей при навигационном обеспечении полёта ВС ГА на основе комплексного использования различных систем следует учитывать следующее:

1) на каком этапе полёта ВС возникает погрешность: полёт по маршруту, заход на посадку или манёвр;

2) при каких условиях полёта возникает эта погрешность: сложные метеоусловия, полёты в горных или городских условиях или в приполярных широтах.

## 2.2. Построение алгоритма выявления навигационных погрешностей на основе комплексирования спутниковой радионавигационной системы и инерциальной навигационной системы (Автор – Эрич М.Й.)

Разработанный алгоритм выявления навигационных погрешностей, предложенный в данной работе, заключается не в классическом комплексировании СРНС и ИНС на основе анализа и обработки всей полученной информации (сильносвязанное комплексирование) [2,3], а в решении обратной навигационной задачи. Суть алгоритма заключается в следующем. С использованием НАП находятся соответствующие псевдодальности от ВС до  $i$ -го навигационного космического аппарата (НКА):

$$D_i^{\text{СРНС}} = cT_i, \quad (1)$$

где  $c = 3 \cdot 10^8$  м/с – скорость света,  $T_i$  - время прохождения сигнала от НКА до ВС. Суть термина псевдодальность заключается в наличии ошибки, связанной с рассинхронизацией по времени «часов» НКА и ВС.

Инерциальная навигационная система в автономном режиме рассчитывает координаты воздушного судна  $(X, Y, Z)$ , которые пересчитываются в эквивалентные псевдодальности по следующей формуле [4]:

$$D_i^{\text{ИНС}} = \sqrt{(X - X_i)^2 + (Y - Y_i)^2 + (Z - Z_i)^2} + cT' + \delta D_i, \quad (2)$$

где  $X_i, Y_i, Z_i$  – априорно известные координаты  $i$ -го НКА,  $T'$  - различие между шкалами времени НКА и потребителя,  $\delta D_i$  - аппаратурные погрешности, которые возникают при определении псевдодальности. Координаты навигационного космического аппарата априорно известны, так как известны параметры орбит и скорости спутников. Далее эти данные направляются в блок анализа различия псевдодальностей, в котором проводится проверка выполнения равенства:

$$\left| D_i^{\text{СРНС}} - D_i^{\text{ИНС}} \right| \leq \Delta L, \quad (3)$$

где  $\Delta L$  - некоторое предельно допустимое расхождение между радионавигационными параметрами, вычисленными по СРНС и ИНС. В случае, если это неравенство не выполняется, делается вывод о наличии отказа (как правило, не полного) на  $i$ -м спутнике и невозможности использования сигнала, полученного с него.

Блок-схема этого алгоритма приведена на рис.1.

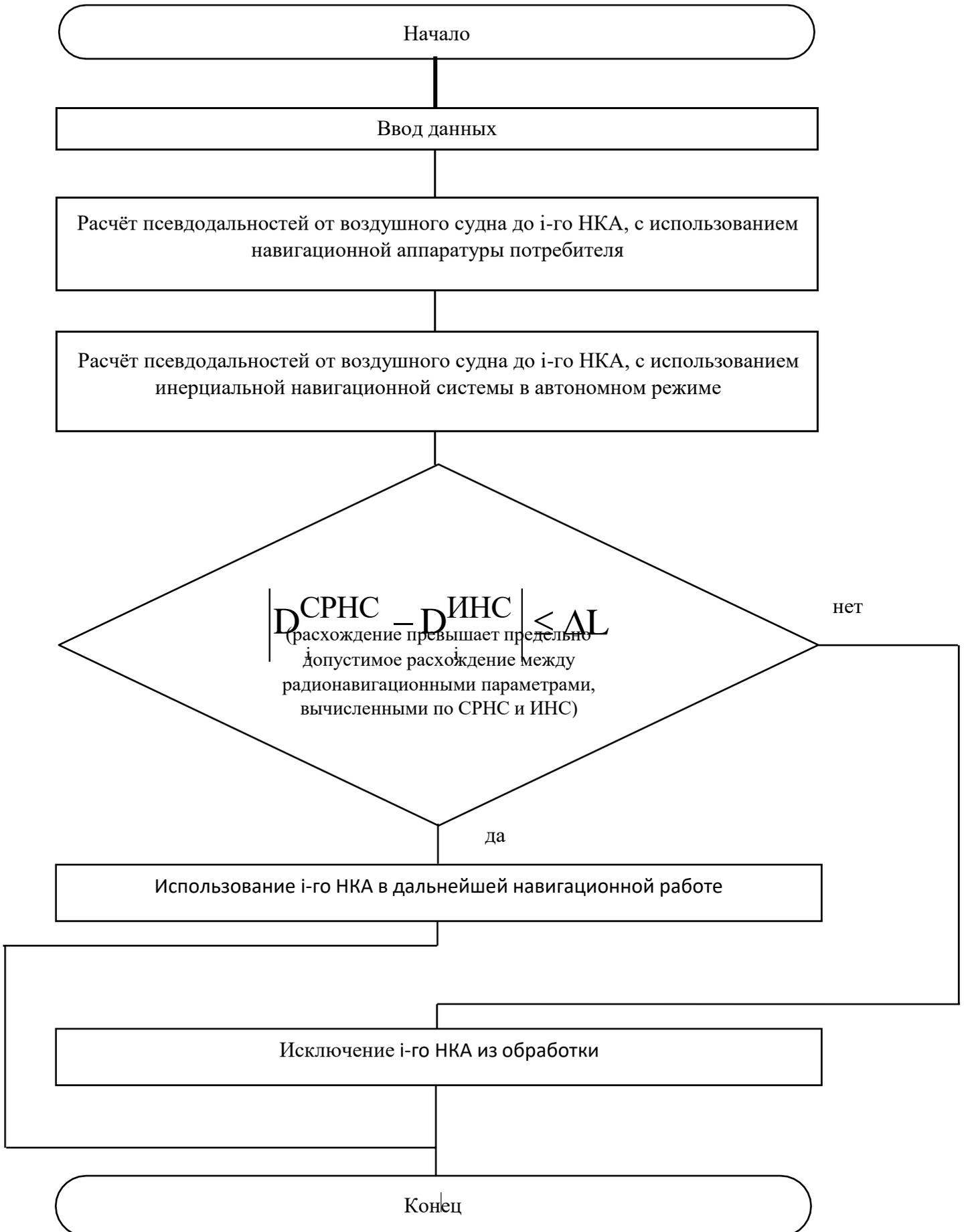


Рис. 1. Блок-схема алгоритма выявления навигационных погрешностей на основе комплексирования СРНС и ИНС

Программная реализация изложенного выше алгоритма приведена в приложении А.

### **1.3. Выявление погрешностей навигационным системам воздушных судов гражданской авиации с использованием мобильных систем типа «МАРС-75» (Автор – Маслов А.К.)**

Использование псевдоспутников позволяет улучшить геометрический фактор – основную точностную характеристику для определения координат ВС при помощи СРНС. Это имеет принципиальное значение для таких регионов Российской Федерации, как полярные широты, отличающиеся большой протяжённостью и малым углом наклона навигационного космического аппарата над горизонтом, а также местностей со сложным рельефом.

Тем не менее, к недостаткам использования псевдоспутников для навигационных определений ВС ГА необходимо отнести следующее:

- 1) отсутствие мобильности;
- 2) невозможность автономного использования в случае отказа всей СРНС.

Следует заметить, что отказ СРНС (или множественный отказ НКА) не является невозможным событием, особенно в случае несанкционированных воздействий, явно возникающих в последнее время. Сигнал навигационного космического аппарата, как и сигнал псевдоспутников, легко подавляется даже недорогим и маломощным передатчиком (не более 50 Вт). Стационарное положение псевдоспутника также позволяет эффективно организовывать помехи навигационным системам ВС ГА и не даёт возможности оперативно реагировать на изменяющуюся динамику полёта воздушного судна [5].

Системы наземного базирования типа «Марс-75» продемонстрировали свою высокую маневренность и возможность работы в условиях повышенных шумов.

Их технические характеристики:

- Диапазон рабочих частот 64-92 кГц,
- Мощность излучения 8-25 Вт,
- Средняя квадратическая ошибка определения местоположения воздушного судна составляет 60-350 м в любое время суток.

Такая точность вполне приемлема для навигационного обеспечения полётов ВС ГА в приполярных широтах и сопоставима с точностью СРНС в обычном режиме.

Сформулируем задачу с целью наилучшего использования навигационного ресурса станций типа «Марс-75»:

Определение координат воздушного судна гражданской авиации происходит через определённые периоды времени  $\Delta t$ . За этот интервал времени воздушное судно перемещается в следующую точку воздушного пространства, следуя установленному маршруту полёта с заданной скоростью, а системы типа «Марс-75» за это время могут изменить свои плоскостные координаты, перемещаясь с некоторой другой скоростью. Возникает проблема определения наилучшего геометрического фактора с учётом новых возможных точек расположения наземных станций типа «Марс-75», которые в данном случае с учётом априорных условий можно и прогнозировать.

Предлагается следующий критерий выбора новых точек размещения систем наземного дополнения типа «Марс-75»:

$$\Gamma_{рд} \rightarrow \min$$

при условии возможности перемещения системы за время  $\Delta t$  в эту точку (следует учитывать как возможную скорость перемещения, так и наличие наземных препятствий).

Далее на рисунке 2 представлена блок-схема алгоритма, построенного по этому критерию.

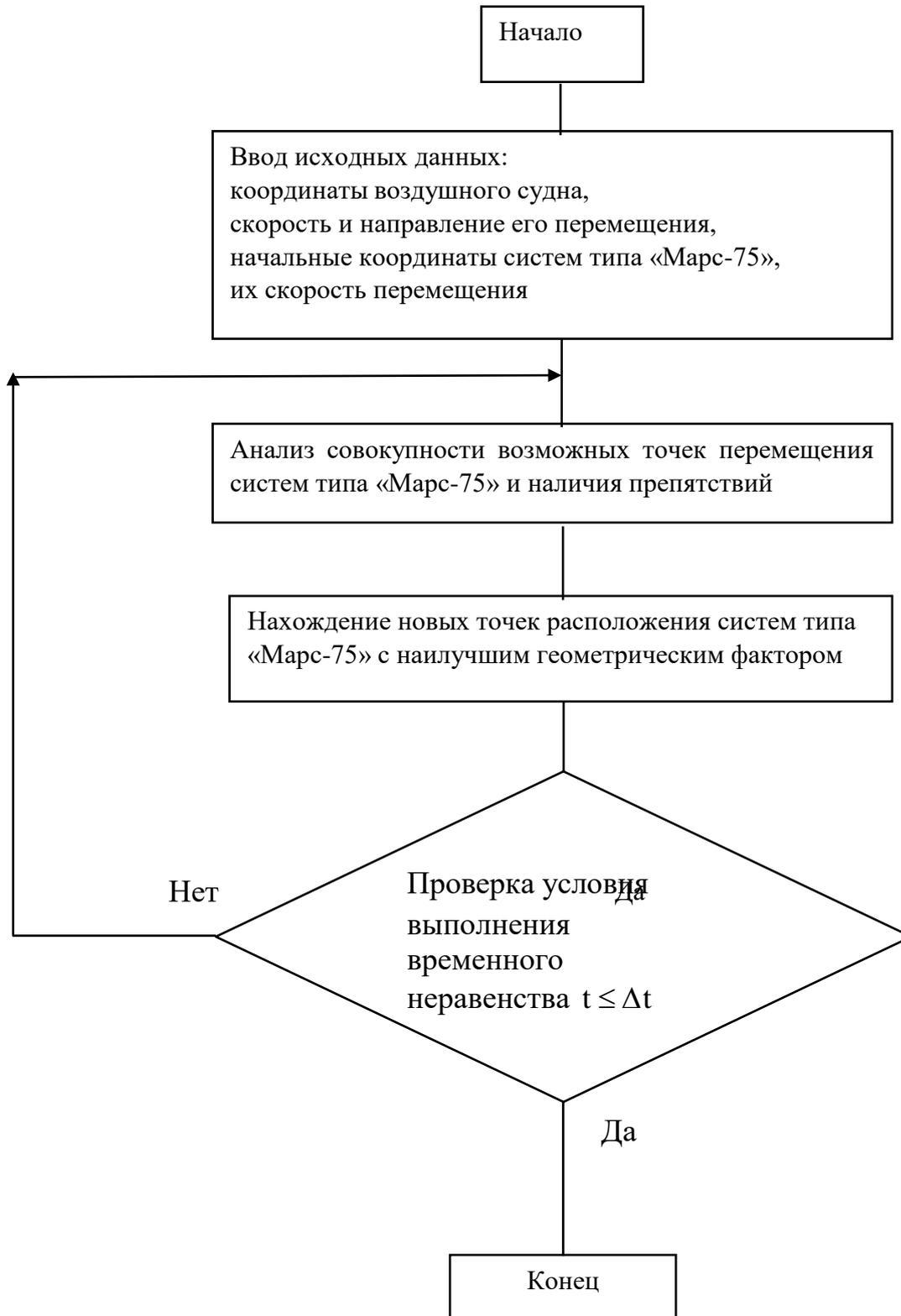


Рисунок 2. Блок-схема алгоритма выбора новых точек размещения систем наземного дополнения типа «Марс-75»

#### **1.4. Выявление погрешностей навигационным системам воздушных судов гражданской авиации на основе использования оптико-электронной системы (Автор – Маслов А.К.)**

Существуют иные способы местоопределения воздушного судна в полете, к примеру оптико-электронные системы (ОЭС). Они основаны на использовании наземных ультрафиолетовых (УФ) маяков и являются современным средством радиотехнического обеспечения полётов, работающим в световом коде [6].

Принцип размещения УФ маяков оптико-электронной системы зависит от приёмника, который стоит на борту ВС ГА. Если приёмник узконаправленный, то размещение ультрафиолетовых маяков происходит одним способом, а, если приёмник широконаправленный, то эта процедура выполняется иначе. Длина волны ультрафиолетового маяка 100 нм. На рисунке 3 приведена схема размещения УФ маяков оптико-электронной системы. При этом желательно, чтобы УФ маяки находились в углах равностороннего треугольника, находящегося внутри угла, образованного лучами антенны или на его боковых сторонах. В случае наличия помех устанавливается локальная контрольно-корректирующая станция [7].

По углу прихода света от УФ маяка ВС определяет свои координаты. Помимо этого, УФ маяки могут работать как линия передачи данных информации с земли. Ультрафиолетовый маяк может передавать информацию о своих координатах, координатах соседних УФ маяков и диспетчерскую информацию.

Таким образом, чтобы выбрать наилучшую схему расположения УФ маяка в зоне аэродрома необходимо иметь следующие данные [8]:

- 1) Информация о диаграмме направленности приёмника, установленного на борту ВС. Подобная информация может быть известна по типам воздушных судов, которые принимает конкретный аэродром.
- 2) Расстояние от ВС до взлётно-посадочной полосы. При этом следует учитывать особенности посадки на данном аэродроме.
- 3) Информация о местности, в которой расположен аэродром. Это также может влиять на возможность расположения УФ маяка.

На рисунке 4 приведена блок-схема алгоритма размещения УФ маяков оптико-электронной системы в районе конкретного аэродрома.

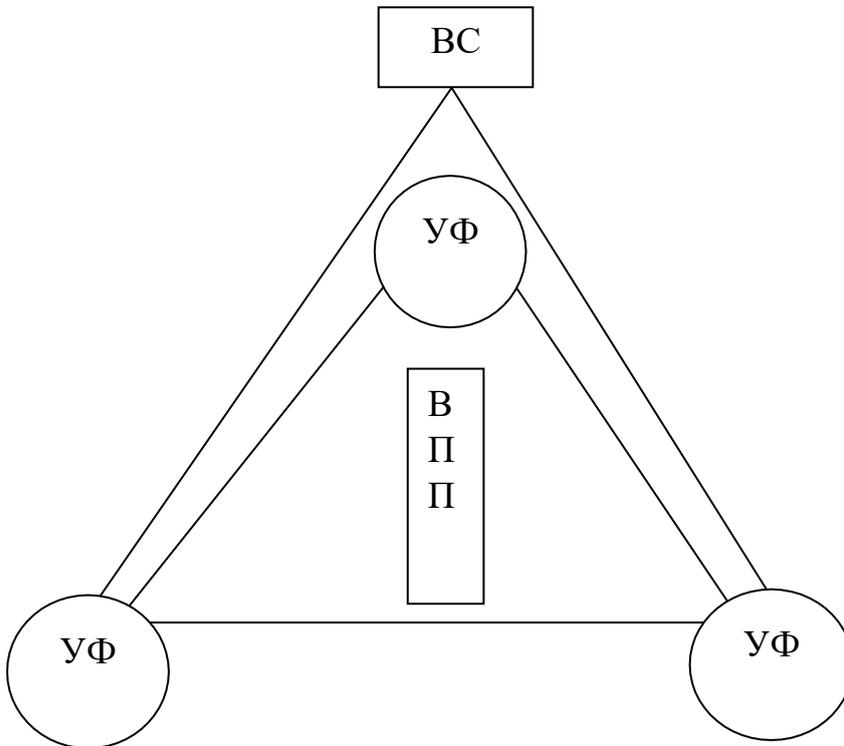


Рисунок 3. Схема расположения ультрафиолетовых радиомаяков ОЭС в районе аэродрома

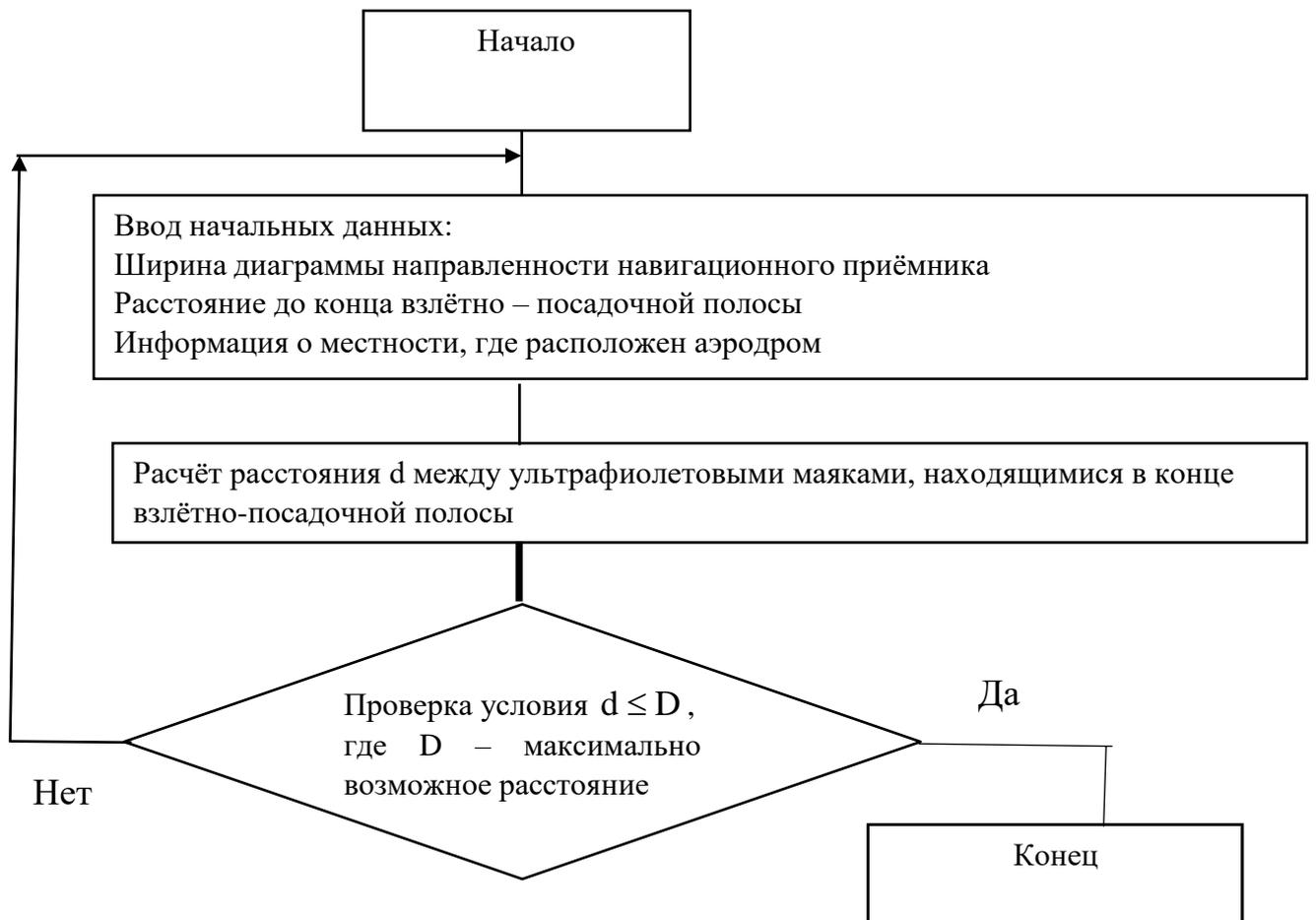


Рисунок 4. Блок-схема алгоритма размещения УФ маяков оптико-электронной системы в районе конкретного аэродрома

Программная реализация этого алгоритма приведена в приложении Б.

### **1.5. Алгоритм выявления погрешностей в радиосвязном канале на основе использования системы опорных оценок (Автор – Эрич М.Й.)**

При анализе любого сообщения, передаваемого по радиосвязному каналу с борта ВС ГА в наземный пункт, необходимо учитывать следующие факторы [9, 10]:

1) Информация о ВС ГА, с которого передаётся сообщение. О ВС ГА обычно известно его примерное положение. В случае большого отличия этой информации от информации, переданной по радиосвязному каналу, необходимо сделать соответствующие выводы о возможности доверять переданной информации.

2) Информация об экипаже ВС ГА. В этом случае следует быстро сделать вывод об эмоциональном состоянии человека, передающего сообщение. Это можно сделать на основе анализа параметров звуковой волны.

При этом следует учитывать такие факторы, как наличие различных частот в голосовом сообщении и их отклонение от стандартной частоты, свойственной речи конкретного члена экипажа ВС ГА. Подобная информация может быть зафиксирована в определённой системе, находящейся в наземном пункте связи с ВС ГА. Эта система может анализировать количество отклонений от некоторого стандарта и при превышении некоторого допуска делать вывод о том, насколько достоверна информация, переданная голосовым сообщением по каналу связи.

Это имеет достаточно принципиальное значение для отдалённых аэродромов, где, на сегодняшний день, большая часть информации с борта ВС ГА, в том числе и навигационная, получается путём голосового радиообмена.

Предложим следующую последовательность шагов для определения достоверности подобной переданной с борта ВС ГА информации:

1. Выявление частотных характеристик голосового сообщения.
2. Сравнение этих характеристик с некоторыми стандартными.
3. Выявление возможного превышения предельного отклонения.
4. В случае возникновения подобной ситуации запросить

подтверждения информации с борта ВС ГА.

#### 5. Экспертиза сложившейся ситуации.

На рисунке 5 приведена блок-схема всей последовательности приведённых выше действий.

На основе предложенной выше последовательности действий был разработан следующий алгоритм сравнения стандартных параметров голосового сообщения с реальными, содержащимися в конкретном сообщении пилота, полученном в ходе радиосвязного обмена.

Вводится вектор, представляющий из себя совокупность стандартных параметров голосового сообщения и реальных, содержащихся в конкретном голосовом сообщении.



Рисунок.5. Последовательность шагов для определения достоверности переданной с борта ВС ГА информации

Введём следующие обозначения:

$\vec{X}_1, \dots, \vec{X}_N$  - набор стандартных параметров голосового сообщения,

$\vec{Y}_1, \dots, \vec{Y}_N$  - набор характеристик голосового сообщения, переданных в настоящий момент времени по каналу связи,

$N$  - количество анализируемых характеристик,

$T = \left( \vec{X}_1, \dots, \vec{X}_N ; \vec{Y}_1, \dots, \vec{Y}_N \right)$  - вектор совокупности стандартных

характеристик голосового сообщения и параметров реального голосового сообщения, переданного с борта ВС ГА в настоящий момент времени.

Представляется возможным сделать вывод, что в сообщении присутствует погрешность (или имеются сомнения в его достоверности),

если хотя бы по одному элементу последовательность  $\vec{X}_1, \dots, \vec{X}_N$

отличается от последовательности  $\vec{Y}_1, \dots, \vec{Y}_N$ .

Следует заметить, что для анализа сообщения, переданного с борта ВС ГА, иногда может быть недостаточно одной оценки.

Вводится система опорных оценок  $\gamma_1, \dots, \gamma_m$ .

Каждому вектору совокупности  $T = \left( \vec{X}_1, \dots, \vec{X}_N ; \vec{Y}_1, \dots, \vec{Y}_N \right)$  имеет смысл

поставить в соответствие некоторое значение  $\alpha_i$ , характеризующее состояние голосового сообщения.

Далее задаётся последовательность предельных значений  $\beta_i$ .

В случае выполнения соотношения  $(\alpha_i - \gamma_i) < \beta_i$ , считается, что данная  $i$ -я оценка не обнаружила погрешность при радиосвязном радиообмене. В противном случае, считается, что эта оценка обнаружила погрешность.

Каждой  $i$ -й оценке поставим в соответствие некое число  $\lambda_i$ , принимающее одно из двух возможных дискретных значений 0 или 1.

Будем считать, что оно принимает значение 0, если погрешность в сообщении не выявлена или 1, если погрешность в радиосвязном обмене обнаружена.

Следует заметить, что проверяемые параметры голосового сообщения могут иметь различную степень важности. Таким образом, при оценке голосового сообщения или иного сообщения, переданного с борта ВС ГА в наземный пункт, следует учитывать и вес полученной оценки [10].

Следует провести анализ оценок по приоритету и каждой оценке поставить в соответствие численное значение, которое обозначим через  $m_i$  и определим как вес оценки относительно исследуемого параметра голосового сообщения.

Далее рассчитывается соотношение  $M = \sum_{i=1}^m m_i \lambda_i$ , которое сравнивается с априорно определённым из опыта предельным значением  $M'$ . В случае выполнения неравенства  $M < M'$  делается вывод, что погрешность в сообщении отсутствует, а, в противном случае, делается вывод, что погрешность обнаружена.

Блок-схема этого алгоритма приведена на рисунке 6.

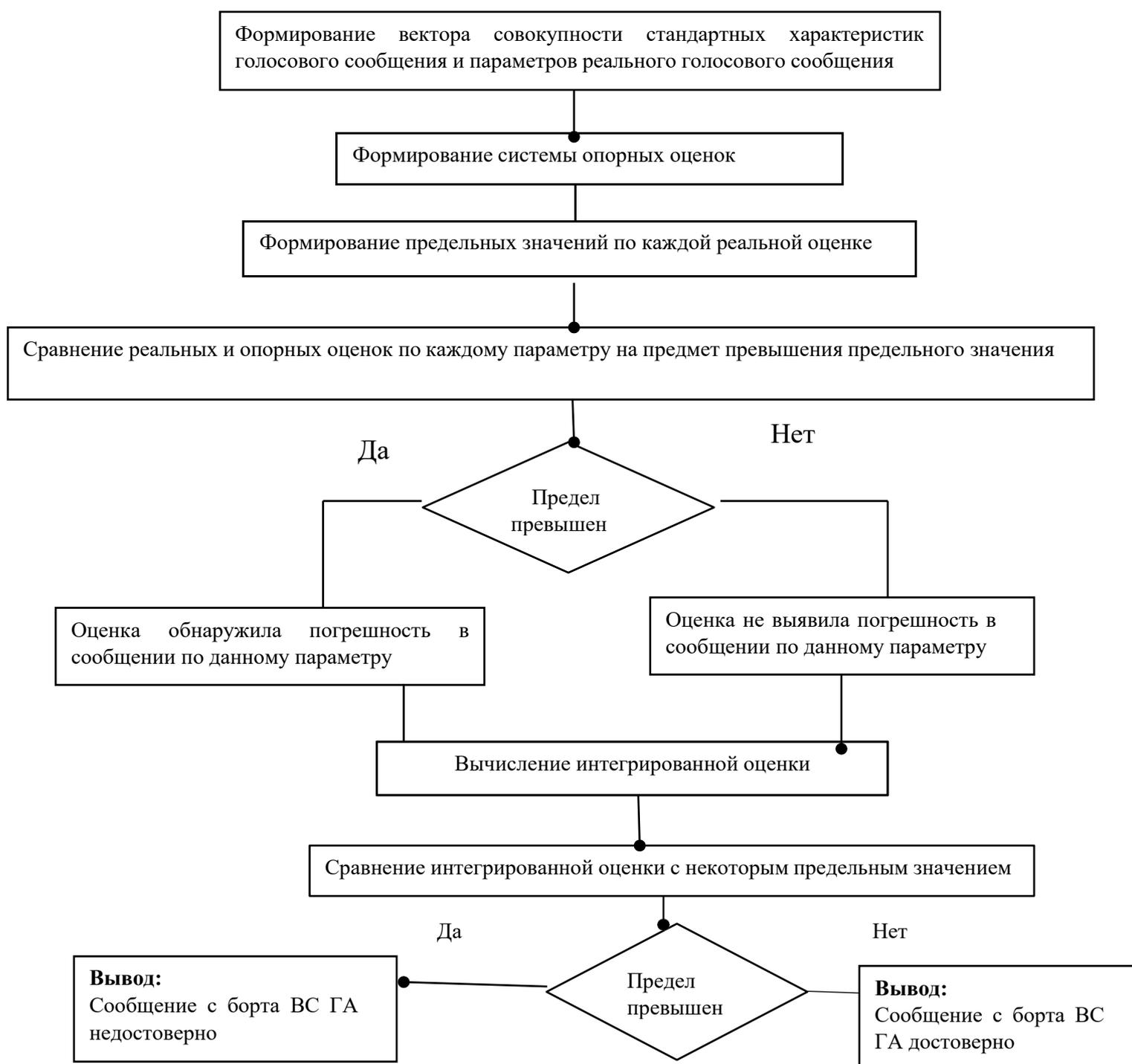


Рисунок. 6. Блок-схема алгоритма выявления погрешностей при голосовом радиосвязном обмене

### 1.6. Определение ошибок при обнаружении погрешностей в радиосвязном канале при голосовом обмене (Автор – Эрич М.Й.)

При выявлении погрешности в канале связи при голосовом радиообмене могут возникать два типа ошибок:

1)  $i$ -я оценка не выявила погрешность в голосовом сообщении, хотя подобное событие имело место.

Обозначим вероятность подобной ошибки через  $\varepsilon_i$ .

Это значение может быть записано следующим образом:

$$\varepsilon_i = P(\lambda_i = 0 / \lambda_i = 1) ; \quad (4)$$

2)  $i$ -я оценка дала заключение о наличии погрешности в голосовом сообщении, хотя такого события на самом деле нет.

Обозначим вероятность подобной ошибки через  $\delta_i$ .

Это значение может быть записано следующим образом:

$$\delta_i = P(\lambda_i = 1 / \lambda_i = 0). \quad (5)$$

Причиной подобных ошибок могут стать следующие факторы:

- 1) недостаточный объём полученной информации;
- 2) погрешности аппаратуры, выявляющей погрешности в голосовом сообщении при радиообмене;
- 3) некие субъективные факторы, связанные с регионом, где происходит полёт ВС ГА, электромагнитные воздействия на аппаратуру искусственного и естественного характера, неблагоприятная метеорологическая обстановка и т.д;

4) так называемый «человеческий фактор», связанный с неверной экспертной оценкой по достоверной информации.

Сделаем предположение, что при проведении  $i$ -й оценки рассматриваются  $t_i$  таких условий, где  $i = 1, \dots, m$ .

Обозначим вероятность возникновения каждого такого условия через  $\eta_i^i$ .

Вероятность ошибки, связанной с «человеческим фактором», определим как  $p(\Delta)$ .

Следует сделать замечание, что все перечисленные выше условия не являются независимыми, а зависят один от другого. Помимо этого, ошибки, связанные с «человеческим фактором» и с физическими явлениями объективного и субъективного характера, могут происходить одновременно.

Таким образом, используя формулу полной вероятности [11], получим выражение для вероятности ошибки 1 рода:

$$\varepsilon = \left| \sum_{i=1}^{k_i} \eta^i P(\lambda = 0 / \eta^i) \right| + p(\Delta) - \left| p(\Delta) \sum_{i=1}^{k_i} \eta^i P(\lambda = 0 / \eta^i) \right| \quad (6)$$

Проведя тот же ход рассуждений, получим подобное выражение для вероятности ошибки 2 рода:

$$\delta = \left| \sum_{i=1}^{k_i} \eta^i P(\lambda = 1 / \eta^i) \right| + p(\Delta) - \left| p(\Delta) \sum_{i=1}^{k_i} \eta^i P(\lambda = 1 / \eta^i) \right| \quad (7)$$

Вероятности возникновения условий  $\eta^i$ , а также вероятности ошибок, связанных с «человеческим фактором», 1 и 2 рода при оценке достоверности голосового сообщения по каждому отдельному фактору могут быть получены из данных наблюдений и обработки статистических данных.

В случае большого количества оцениваемых факторов выражения (6) и (7) могут оказаться довольно громоздкими для вычислений. Таким образом, при проведении описанной выше процедуры следует предварительно провести анализ и сортировку по приоритетности всей полученной информации, чтобы свести число этих факторов к приемлемому минимуму.

Блок-схема алгоритма определения ошибок 1 и 2 рода приведена на рисунке 7.

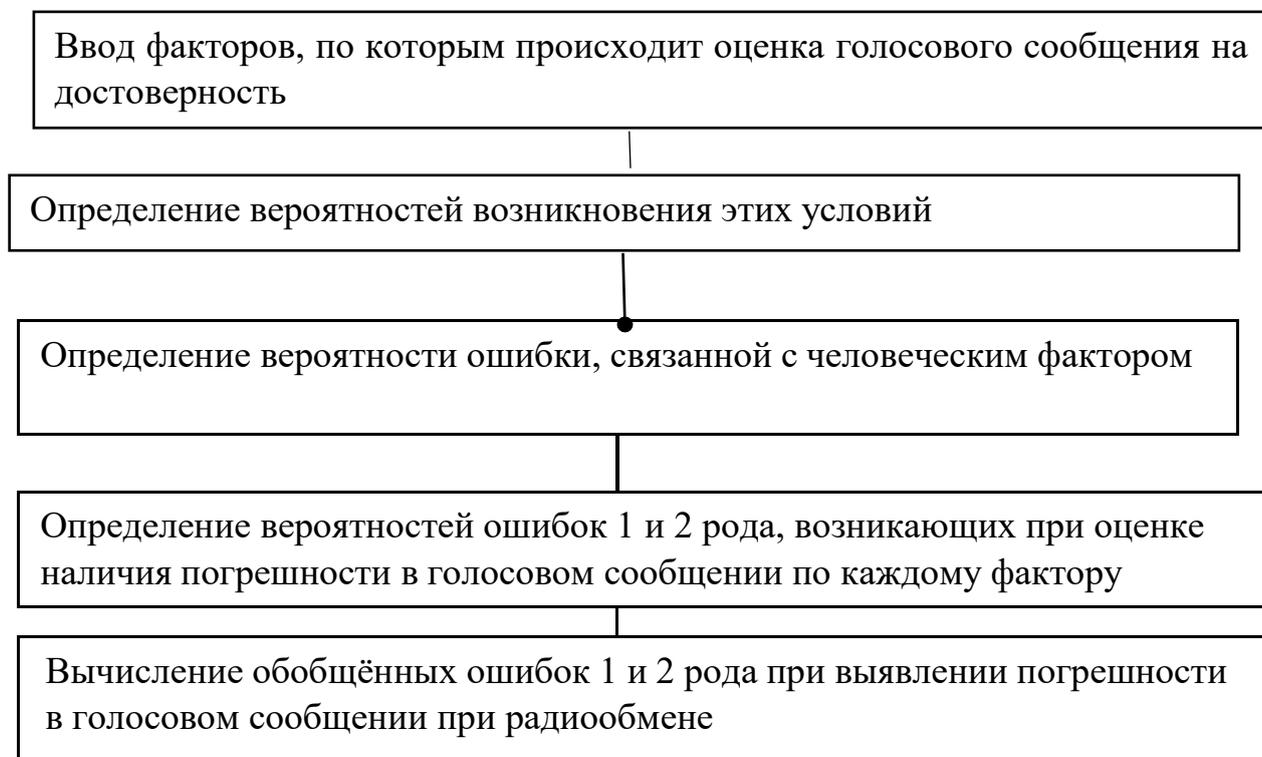


Рисунок 7. Блок-схема алгоритма определения ошибок 1 и 2 рода при выявлении погрешности в голосовом сообщении

### **3. Заключение (Автор – Маслов А.К.)**

В ходе данной научно-исследовательской работы были получены алгоритмы выявления погрешностей при навигационном обеспечении полёта воздушного судна гражданской авиации с использованием, как бортовой аппаратуры ВС ГА, так и наземного оборудования: мобильные системы типа «МАРС-75» и оптико-электронные системы на основе УФ маяков, а также алгоритм выявления погрешности в голосовом сообщении при радиообмене. Помимо приведённых алгоритмов осуществлена их реализация в виде программного обеспечения, на которое имеется акт внедрения в ООО «НППФ Спектр» (Приложение В) и Свидетельств о государственной регистрации программы для ЭВМ (Приложение Г, Д), полученное в Федеральной службе по интеллектуальной собственности.

К основным результатам работы необходимо отнести следующее:

- 1) Разработан алгоритм выявления навигационных погрешностей при полёте воздушного судна гражданской авиации путём решения обратной навигационной задачи на основе совместного использования спутниковой радионавигационной системы и инерциальной навигационной системы с разработкой соответствующего программного обеспечения;
- 2) Разработан алгоритм выбора наилучшей системы из псевдоспутников по предложенному критерию с разработкой соответствующего программного обеспечения.
- 3) Разработан алгоритм выбора новых точек размещения систем наземного дополнения типа «Марс-75» по предложенному критерию с разработкой соответствующего программного обеспечения.
- 4) Разработан алгоритм выбора схемы размещения ультрафиолетовых маяков оптико-электронной системы с учётом специфики конкретного аэродрома с разработкой соответствующего программного обеспечения.
- 5) Разработан алгоритм выявления погрешности в голосовом сообщении при радиообмене.
- 6) Опубликовано 1 статья в журнале «Информатизация и связь».

#### **Список использованных источников**

1. Приложение 10 к Конвенции о международной гражданской авиации: Авиационная электросвязь (Том 1). - Международная организация гражданской авиации, 2006.
2. Соловьёв Ю.А. Системы спутниковой навигации.- Москва, 2000.
3. Кинкулькин И.Е., Сурков Д.М., Рубцов В.Д. Контроль целостности интегрированной системы СРНС – ИНС. Новости навигации, №2, 2003.

4. Сафин М.Д. Анализ корреляционных и спектральных характеристик погрешности ИНС по экспериментальным данным навигационных определений ВС с использованием комплекса СРНС – ИНС. – Межвузовский сборник научных трудов “ Проблемы эксплуатации и совершенствования транспортных систем”, т.ХІ. С.-Петербург: Академия ГА, 2005.
5. Завалишин О.И., Затучный Д.А. Методы повышения помехоустойчивости навигационных систем воздушных судов гражданской авиации. - Информационно-аналитический журнал «Радиоэлектронные технологии», №2/ 2019 (21), стр. 70-74.
6. О.И. Завалишин. О двухсозвездных GBAS. – Научный вестник МГТУ ГА, Том 21, №3, 2018, стр. 37-46.
7. Завалишин О.И. Улучшение точности навигации и посадки с использованием GBASII/III категории. - Журнал «Информатизация и связь», №2, 2017, стр. 18-21.
8. Затучный Д.А., Маслов А.К., Эрич М.Й. Выбор топологии расположения наземных средств обеспечения полётов для улучшения точности выявления навигационной погрешности. - Журнал «Информатизация и связь», №4, 2019, стр. 169-173.
9. Затучный Д.А. Определение ложной информации по голосу пилота. - Труды Международного Симпозиума «Надёжность и качество», Пенза, 2010, Том 1, стр. 429-430.
10. Затучный Д.А. Метод передачи данных с борта воздушного судна в городских районах в режиме автоматического зависящего наблюдения с целью снижения эффекта отражения волн. - Научный Вестник МГТУ ГА №176, 2012, стр. 145-148.
11. Вентцель, Е.С. Теория вероятностей: учеб.для вузов.-5-е изд. стер./ Е.С.Вентцель.- М.: Высш. шк., 1998. – 576 с.

## Приложение А

### Программа выявления отказа навигационного космического аппарата при комплексировании спутниковой радионавигационной системы и инерциальной навигационной системы

```
using System;
using System.Collections.Generic;
using System.ComponentModel;
using System.Data;
using System.Drawing;
using System.Linq;
using System.Text;
using System.Threading.Tasks;
using System.Windows.Forms;
namespace WindowsFormsApp1
{
    public partial class Form1 : Form
    {
        public Form1()
        {
            InitializeComponent();
        }
        private void label1_Click(object sender, EventArgs e)
        {
        }
        private void textBox1_TextChanged(object sender, EventArgs e)
        {
        }
        private void button1_Click(object sender, EventArgs e)
        {
            pictureBox4.Image = Properties.Resources.satelite as Bitmap;
            pictureBox5.Image = Properties.Resources.satelite as Bitmap;
            pictureBox6.Image = Properties.Resources.satelite as Bitmap;
            pictureBox7.Image = Properties.Resources.satelite as Bitmap;
            //1 HKA
            double x_1 = Convert.ToDouble(textX_1.Text);
            double y_1 = Convert.ToDouble(textY_1.Text);
            double z_1 = Convert.ToDouble(textZ_1.Text);
            double T_1 = Convert.ToDouble(textT_1.Text);
            //
```

```

//2 НКА
double x_2 = Convert.ToDouble(textX_2.Text);
double y_2 = Convert.ToDouble(textY_2.Text);
double z_2 = Convert.ToDouble(textZ_2.Text);
double T_2 = Convert.ToDouble(textT_2.Text);
//
//3 НКА
double x_3 = Convert.ToDouble(textX_3.Text);
double y_3 = Convert.ToDouble(textY_3.Text);
double z_3 = Convert.ToDouble(textZ_3.Text);
double T_3 = Convert.ToDouble(textT_3.Text);
//
//4 НКА
double x_4 = Convert.ToDouble(textX_4.Text);
double y_4 = Convert.ToDouble(textY_4.Text);
double z_4 = Convert.ToDouble(textZ_4.Text);
double T_4 = Convert.ToDouble(textT_4.Text);
//
//Координаты самолёта
double x_p = Convert.ToDouble(textPX.Text);
double y_p = Convert.ToDouble(textPY.Text);
double z_p = Convert.ToDouble(textPZ.Text);
//
////Ввод L
double L = Convert.ToDouble(textL.Text);
////
double c = 3* Math.Pow(10, 9);// задание скорости света
//
//Вычисление срнс
double D_crns_1, D_crns_2, D_crns_3, D_crns_4;
D_crns_1 = c * T_1 * Math.Pow(10, -8);
D_crns_2 = c * T_2 * Math.Pow(10, -8);
D_crns_3 = c * T_3 * Math.Pow(10, -8);
D_crns_4 = c * T_4 * Math.Pow(10, -8);
//Вычисление инс
double D_ins_1, D_ins_2, D_ins_3, D_ins_4;
double T_h = Math.Pow(10, -9); //различие между шкалами времени
навигационного космического аппарата и потребителя

```

```

double D_pog = 13; //погрешности, которые возникают при
определении псевдодальности, задаю в метрах
D_ins_1 = Math.Sqrt(Math.Pow(x_p - x_1, 2) + Math.Pow(y_p - y_1, 2) +
Math.Pow(z_p - z_1, 2)) + c * T_h + D_pog;
D_ins_2 = Math.Sqrt(Math.Pow(x_p - x_2, 2) + Math.Pow(y_p - y_2, 2) +
Math.Pow(z_p - z_2, 2)) + c * T_h + D_pog;
D_ins_3 = Math.Sqrt(Math.Pow(x_p - x_3, 2) + Math.Pow(y_p - y_3, 2) +
Math.Pow(z_p - z_3, 2)) + c * T_h + D_pog;
D_ins_4 = Math.Sqrt(Math.Pow(x_p - x_4, 2) + Math.Pow(y_p - y_4, 2) +
Math.Pow(z_p - z_4, 2)) + c * T_h + D_pog;
//обработка неравенства
double obr_1, obr_2, obr_3, obr_4;
obr_1 = Math.Abs(D_crns_1 - D_ins_1);
obr_2 = Math.Abs(D_crns_2 - D_ins_2);
obr_3 = Math.Abs(D_crns_3 - D_ins_3);
obr_4 = Math.Abs(D_crns_4 - D_ins_4);
if (obr_1 >= L)
    pictureBox4.Image = Properties.Resources.otk_1 as Bitmap;
if (obr_2 >= L)
    pictureBox7.Image = Properties.Resources.otk_1 as Bitmap;
if (obr_3 >= L)
    pictureBox6.Image = Properties.Resources.otk_1 as Bitmap;
if (obr_4 >= L)
    pictureBox5.Image = Properties.Resources.otk_1 as Bitmap;
}

private void Form1_Load(object sender, EventArgs e)
{
}
}
}

```

## Приложение Б

### Программа выбора конфигурации размещения ультрафиолетовых маяков в зоне аэродрома

```

using System;
using System.Collections.Generic;

```

```
using System.ComponentModel;
using System.Data;
using System.Drawing;
using System.Linq;
using System.Text;
using System.Threading.Tasks;
using System.Windows.Forms;

namespace gr_prog_3
{
    public partial class Form1 : Form
    {
        public Form1()
        {
            InitializeComponent();
        }

        private void label1_Click(object sender, EventArgs e)
        {
        }

        private void button1_Click(object sender, EventArgs e)
        {
            double angle_a = Convert.ToDouble(angle_A.Text);
            double distance_l = Convert.ToDouble(distance_L.Text);
            double radian = (angle_a * Math.PI / 180) / 2;

            double max_d = (distance_l / Math.Tan(radian)) * 2;

            LB_max_D.Text = max_d.ToString();
        }

        private void button2_Click(object sender, EventArgs e)
        {
            double max_d = Convert.ToDouble(max_D.Text);
            double l = Convert.ToDouble(d_L.Text);

            double tg_A = l / (max_d / 2);

            double buf = ((Math.Atan(tg_A) * 180 / Math.PI) / 2) * 2;
            gr.Text = buf.ToString();
        }
    }
}
```

```
if (buf >= 10 && buf <= 60)
    pictureBox2.Image = Properties.Resources.grant3 as Bitmap;
else
    pictureBox2.Image = Properties.Resources.grant4 as Bitmap;
}
}
}
```

## Приложение В

Акт внедрения алгоритма в ООО «НППФ «Спектр»



**Приложение Г**  
**СВИДЕТЕЛЬСТВО**

о государственной регистрации программы для ЭВМ  
№2019666915

«Программа выбора расположения мобильных и стационарных  
навигационных систем, альтернативных спутниковым системам» (НЕСРНС)

РОССИЙСКАЯ ФЕДЕРАЦИЯ



**СВИДЕТЕЛЬСТВО**  
о государственной регистрации программы для ЭВМ  
**№ 2019666915**

**«Программа выбора расположения мобильных и  
стационарных навигационных систем, альтернативных  
спутниковым системам» (НЕСРНС)**

Правообладатель: *Затучный Дмитрий Александрович (RU)*

Авторы: *Затучный Дмитрий Александрович (RU),  
Маслов Александр Константинович (RU)*

Заявка № **2019665524**  
Дата поступления **28 ноября 2019 г.**  
Дата государственной регистрации  
в Реестре программ для ЭВМ **17 декабря 2019 г.**

*Руководитель Федеральной службы  
по интеллектуальной собственности*



*Г.П. Излиев*

**Приложение Д  
СВИДЕТЕЛЬСТВО**

о государственной регистрации программы для ЭВМ  
№2019666028

«Программа выбора конфигурации размещения псевдоспутников»  
(ПВКР ПС)



о государственной регистрации программы для ЭВМ

№ 2019666028

«Программа выбора конфигурации размещения  
псевдоспутников» (ПВКР ПС)



✂

✂

✂

