

ТРАНСПОРТ

05.22.01 – Транспортные и транспортно-технологические системы страны, ее регионов и городов, организация производства на транспорте;

05.22.08 – Управление процессами перевозок;

05.22.13 – Навигация и управление воздушным движением;

05.22.14 – Эксплуатация воздушного транспорта

УДК 656

DOI: 10.26467/2079-0619-2022-25-1-8-20

**СИСТЕМА ИНТЕЛЛЕКТУАЛЬНОГО КОНТРОЛЯ
ТЕХНИЧЕСКОГО СОСТОЯНИЯ РАДИОМАЯКОВ
НАВИГАЦИОННО-ПОСАДОЧНОГО КОМПЛЕКСА**

Д.Д. ГАБРИЭЛЬЯН¹, П.И. КОСТЕНКО², О.А. САФАРЬЯН³

¹*Ростовский-на-Дону научно-исследовательский институт радиосвязи,
г. Ростов-на-Дону, Россия*

²*Ростовский филиал МГТУ ГА, г. Ростов-на-Дону, Россия*

³*Донской государственный технический университет, г. Ростов-на-Дону, Россия*

Работа выполнена при материальной поддержке РФФИ, грант № 19-01-00151/21

В статье рассматривается возможность построения систем контроля технического состояния генераторов передающих каналов радиомаяков (РМ) навигационно-посадочного комплекса аэропорта с использованием систем искусственного интеллекта. Особенностью использования систем искусственного интеллекта для построения системы технического контроля является включение в базу знаний многомерной функции правдоподобия, позволяющей на основе только измерений фаз сигналов, формируемых в РМ, оценивать средние частоты формируемых сигналов в РМ; отклонения средних частот от требуемых значений на всем интервале наблюдения; случайные отклонения текущих значений частоты от средних значений на каждом интервале измерения; относительные нестабильности частоты каждого из генераторов. Получаемые результаты и их изменение с течением времени позволяют проводить мониторинг технического состояния генераторов каналов РМ; диагностику технического состояния генераторов каналов РМ; прогнозирование технического состояния генераторов каналов РМ и принятие решения о состоянии контролируемого генератора по критерию НОРМА – УХУДШЕНИЕ – АВАРИЯ.

Ключевые слова: навигационно-посадочное оборудование, аппаратура дистанционного управления, радиомаяк, ВЧ-сигнал, стабильность частоты, синхронизация фаз, оценки отклонения частоты и фазы от номинальных значений.

ВВЕДЕНИЕ

Возрастание интенсивности движения воздушных судов, и в первую очередь взлетов/посадок самолетов в аэропортах различного класса, наряду с усиливающимися требованиями безопасности полетов обуславливают необходимость дальнейшего повышения надежности аэродромного оборудования. Последнее представляет собой комплекс взаимосвязанных систем, работа которых должна быть строго синхронизирована [1–9]. Наиболее значимый рост требований к надежности наблюдается в отношении навигационно-посадочного оборудования аэродромов, от синхронного функционирования систем которых в наибольшей степени зависит безопасность полетов [10–12]. Особенности комплекса навигационно-посадочного оборудования аэродромов являются:

- распределение систем в составе комплекса на большой территории;
- функциональная взаимосвязь систем, обеспечивающая решение наиболее сложных задач, таких как навигация, взлет и посадка самолетов;

– возможность проведения независимого тестового и функционального контроля в каждой из подсистем.

В настоящее время и в ближайшем будущем наиболее полно удовлетворяющим требованиям практического применения является использование в составе аэродромов систем навигации и посадки, в состав которых входит следующее оборудование:

– радиомаяк курсовой (РМК), предназначенный для формирования плоскостей, ближайшая из которых к вертикальной плоскости, проходящей через ось ВПП, образует при пересечении с плоскостью глиссады линию курса, относительно которой ориентируются самолеты в горизонтальной плоскости при заходе на посадку и во время посадки (частота излучаемых сигналов лежит в диапазоне 108,0...111,975 МГц);

– радиомаяк глиссадный (РМГ), предназначенный для формирования плоскостей, ближайшая из которых к плоскости глиссады образует при пересечении с плоскостью курса линию глиссады, относительно которой ориентируются самолеты в вертикальной плоскости при заходе на посадку и во время посадки (частота излучаемых сигналов лежит в диапазоне 328,6...335,4 МГц);

– радиомаяк приводный (РМП), выполняющий различные функции, например дальнего и ближнего приводного радиомаяка, а также отдельной приводной радиостанции (частота рабочего канала – одно из дискретных значений в диапазоне от 190 до 1750 кГц через 100 Гц);

– радиомаяк дальномерный (РМД) навигационно-посадочный, предназначенный для приема сигналов запроса дальности и излучения сигналов ответа дальности для обеспечения измерения на борту ВС удаления от места установки наземного оборудования при заходе на посадку, взлете, уходе на второй круг и т. д. (диапазон частот рабочих каналов: приемного 1025...1150 МГц, передающего 962...1213 МГц);

– автоматический радиопеленгатор (АРП), предназначенный для измерения пеленга на воздушное судно (ВС) (диапазон частот 118,000...136,97 МГц).

С целью обеспечения непрерывного и одновременного контроля состояния всех перечисленных радиомаяков (РМ) и дистанционного управления ими применяют аппаратуру дистанционного управления (АДУ), которая является программно-аппаратным комплексом, предназначенным для обеспечения непрерывного одновременного контроля состояния параметров и диагностики оборудования подключенных к ней радиомаяков серии 90 и 200.

Общая структурная схема дистанционного управления радиомаяками¹ из состава навигационно-посадочного оборудования аэродрома приведена на рис. 1.

Каждый из радиомаяков, входящих в состав навигационно-посадочного оборудования, имеет подсистему, обеспечивающую проведение соответствующего тестового контроля. Однако сложность и большое количество разнотипных, но функционально взаимосвязанных систем, многообразие решаемых задач определяют необходимость проведения диагностики, организации мониторинга и прогнозирования состояния взлетно-посадочного комплекса в целом и входящих в него систем. Решение всей совокупности задач может быть достигнуто только на основе проведения функционального контроля радиомаяков навигационно-посадочного оборудования аэродрома, определяющего способность правильного выполнения функций оценивания *курсо-глиссадных параметров воздушного судна*, глубина которого варьируется в зависимости от значений параметров аппаратуры.

Основной задачей навигационно-посадочного оборудования является формирование сигналов с требуемыми параметрами. В частности, выполнение эксплуатационных характеристик системы посадки связано с обеспечением относительной стабильности частоты² на уров-

¹ Системы посадки СП–200. Стандартная спецификация. НИИИТ–РТС, 2000. 48 с.

² ICAO AN10-1: Приложение 10. Авиационная электросвязь. Том 1. Радионавигационные средства. 6-е изд. // ИКАО, 2006. 628 с.

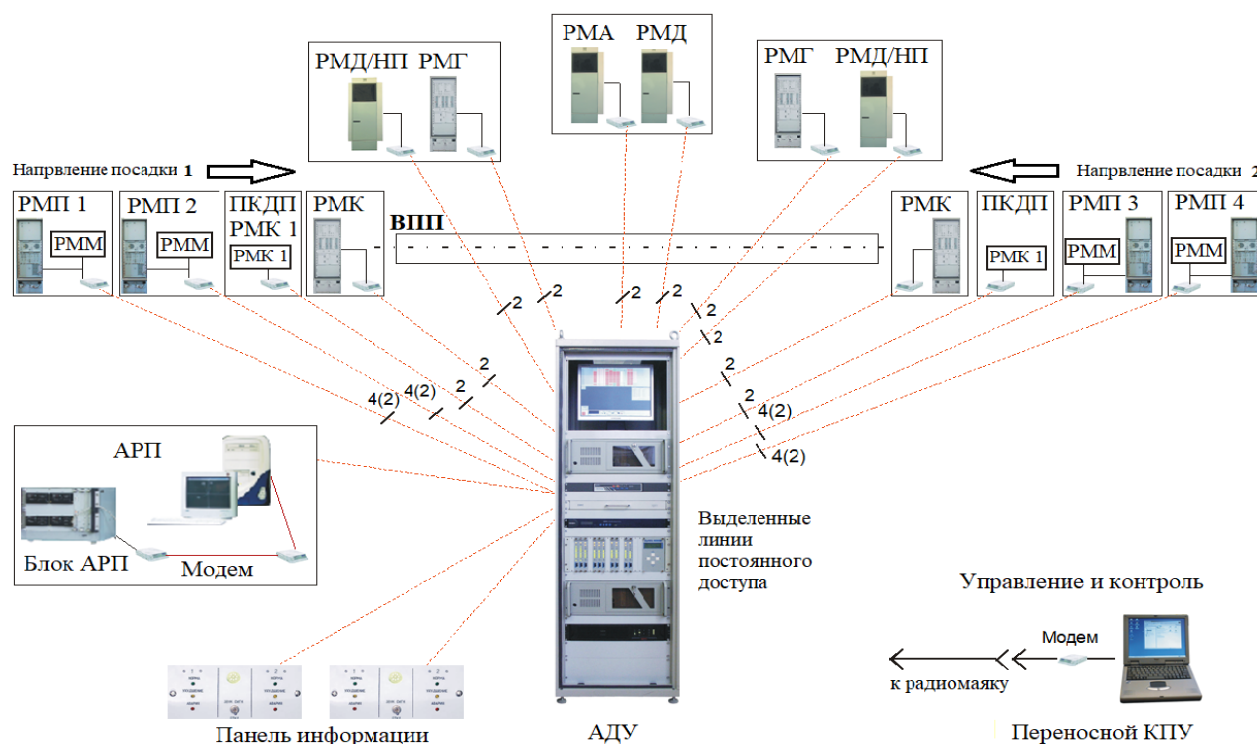


Рис. 1. Общая структурная схема дистанционного управления радиомаяками навигационно-посадочного оборудования аэродрома

Fig. 1. The general block diagram of radio beacons remote control for the airfield navigation and landing equipment

не $(1...2) \cdot 10^{-5}$. Реализация такой стабильности не требует использования сложных технических решений. Однако это относится к радиоэлектронной аппаратуре, работающей в подготовленных помещениях в достаточно узком диапазоне изменения температуры окружающей среды. В то же время антенно-мачтовые устройства навигационного и посадочного оборудования размещаются на территории аэродрома в соответствии с требованиями к размещению объектов радиотехнического обеспечения полетов и авиационной связи³, что требует дополнительных решений по обеспечению заданной стабильности частоты формируемых сигналов в аппаратуре системы посадки и надежности ее функционирования.

С учетом вышесказанного цель работы состоит в применении методов искусственного интеллекта к решению задач мониторинга, диагностики и прогнозирования технического состояния радиоэлектронных систем навигационно-посадочного оборудования аэродрома.

МОДЕЛЬ КОНТРОЛЯ ПАРАМЕТРОВ РАДИОМАЯКОВ НАВИГАЦИОННОГО И ПОСАДОЧНОГО ОБОРУДОВАНИЯ АЭРОДРОМА

В работах [13, 14] предложены метод и алгоритм оценивания параметров сигналов в каналах радиомаяков из состава навигационного и посадочного оборудования аэродрома, позволяющие на основе измерения фаз формируемых сигналов оценивать текущие параметры генераторного оборудования радиомаяков. Получаемые оценки дают возможность не только опре-

³ Приказ Министерства транспорта РФ от 20 октября 2014 г. № 297 «Об утверждении Федеральных авиационных правил "Радиотехническое обеспечение полетов воздушных судов и авиационная электросвязь в гражданской авиации"» [Электронный ресурс] // КонсультантПлюс. 2014. URL: http://www.consultant.ru/document/cons_doc_LAW_172361/ (дата обращения: 20.10.2021).

делять текущее состояние генераторного оборудования, но и формировать прогноз изменения характеристики соответственно принимать решения по проведению обслуживания и ремонта.

Обобщенное представление сигналов в РМ может быть представлено в виде

$$u_n^{(i)}(t) = U_n^{(i)}(t) \cos(2\pi \cdot \Psi_n^{(i)}(t)), (n=1, \dots, N_i, k=1, \dots, K), \quad (1)$$

в котором $U_n^{(i)}$ и $\Psi_n^{(i)}(t)$ – соответственно амплитуда и фаза формируемого сигнала в n -м канале k -го РМ; N_k – число каналов формирования сигналов k -го РМ; K – число РМ в составе навигационного и посадочного оборудования аэродрома.

В каждом из этих каналов в течение общего измерительного интервала проводится измерение фазы формируемого сигнала. Такие измерения могут быть выполнены путем введения в каждый канал формирования ВЧ-сигналов направленного ответвителя мощности с малым коэффициентом связи. С выхода ответвителя мощности сигналы подаются на измеритель фаз, имеющий количество информационных входов, равное общему числу каналов всех контролируемых РМ навигационно-посадочного комплекса.

Для каждого канала РМ может быть определено номинальное значение фазы $\Psi_{0n}^{(i)}(t)$, соответствующее функционированию генератора n -го канала с заданными параметрами в допустимых границах их отклонения. Отличие измеряемого значения фазы в n -м канале k -го РМ ($n=1, \dots, N_k, k=1, \dots, K$) из-за воздействия различных факторов будет определяться постоянным отклонением δf_n средней частоты формируемого сигнала от требуемой, случайным отклонением частоты формируемого сигнала $\Delta f_{n,m}$ от среднего значения на m -м интервале измерения ($m=1, \dots, M$) и отклонением длительности m -го интервала измерений на величину Δt_m от номинального значения.

По результатам измерений с учетом физической независимости каналов передающих устройств на частотах $f_n^{(i)}$ ($n=1, \dots, N_k, k=1, \dots, K$) и наличия в каждом канале собственных дестабилизирующих факторов оценка параметров генераторов, как показано в [16, 17], может быть получена из условия максимума функции правдоподобия

$$L(\Delta t, \delta f, \delta \sigma) = - \sum_{n=1}^N \sum_{m=1}^M \left\{ \ln(\sqrt{2\pi}\sigma_{0,n}) + \frac{(\Delta \Phi_n - f_n^{(0)} \cdot \Delta t_m - 2\delta f_n \cdot t_0)^2}{2\sigma_{0,n}^2 \cdot t_0^2} \right\} \quad (2)$$

где $\Delta t = \{\Delta t_1, \dots, \Delta t_M\}$; $\delta f = \{\delta f_1, \dots, \delta f_N\}$; $\delta \sigma = \{\delta \sigma_1, \dots, \delta \sigma_N\}$ – оценки возникающих в процессе эксплуатации отклонений соответствующих параметров от заявленных технических характеристик РМ, приведенные в руководствах по их эксплуатации.

Нахождение максимума функции (2) приводит к решению системы $2N \cdot M + M$ уравнений относительно $2N + M$ неизвестных:

$$\begin{cases} \frac{\partial L(\Delta t, \delta f, \delta \sigma)}{\partial \Delta t_m} = 0, m=1, \dots, M, \\ \frac{\partial L(\Delta t, \delta f, \delta \sigma)}{\partial \delta f_n} = 0, n=1, \dots, N, m=1, \dots, M, \\ \frac{\partial L(\Delta t, \delta f, \delta \sigma)}{\partial \delta \sigma_n} = 0, n=1, \dots, N, m=1, \dots, M. \end{cases} \quad (3)$$

Частные производные логарифмической функции правдоподобия из системы уравнений (3) легко вычисляются, но из-за громоздкости в статье не приводятся.

ПОСТРОЕНИЕ ИНТЕЛЛЕКТУАЛЬНОЙ СИСТЕМЫ КОНТРОЛЯ ГЕНЕРАТОРНОГО ОБОРУДОВАНИЯ РАДИОМАЯКОВ НАВИГАЦИОННОГО И ПОСАДОЧНОГО ОБОРУДОВАНИЯ АЭРОДРОМА

Одним из возможных направлений получения оценок $\delta \mathbf{f} = \{\delta f_1, \dots, \delta f_{N_k}\}$, $\delta \sigma = \{\delta \sigma_1, \dots, \delta \sigma_{N_k}\}$ ($n = 1, \dots, N_k, k = 1, \dots, K$) и $\Delta t = \{\Delta t_1, \dots, \Delta t_M\}$ в процессе работы радиомаяков является использование систем искусственного интеллекта (СИИ), к которым относятся и системы управления в сложных распределенных системах [15–21]. Такие системы позволяют применительно к возрастающим требованиям к безопасности полетов решать для навигационно-посадочного оборудования аэродромов задачи диагностики, мониторинга, прогнозирования технического состояния.

Практическая значимость предлагаемого варианта контроля заключается в том, что данный контроль проводится без перевода аппаратуры в тестовый режим и может проводиться постоянно в течение всего времени функционирования навигационно-посадочного оборудования аэродрома. Вариант построения системы функционального контроля на базе СИИ приведен на рис. 2.

В состав системы функционального контроля на базе СИИ входят:

– *экспертная подсистема (эксперт)*, обеспечивающая полноту введения в базу знаний всей исходной информации о радиомаяках (число и типы РМ, требуемые параметры сигналов согласно документации по эксплуатации РМ, поправки в соответствии с сезонными условиями эксплуатации) и ее хранение в течение требуемого периода и последующего обновления;

– *пользовательская подсистема*, являющаяся одновременно и объектом управления и подсистемой формирования данных для определения текущих значений параметров сигналов (измеренных значений фаз сигналов $\Psi_n^{(i)}(t_m)$);

– *подсистема базы знаний*, обеспечивающая хранение:

- номинальных значений фазы сигналов генераторов РМ_k $\Psi_{0n}^{(i)}$ ($n = 1, \dots, N_k, k = 1, \dots, K$);
- возможных предельных значений отклонения средней частоты генераторов РМ;
- параметров предельных внешних факторов, влияющих на случайное отклонение частоты формируемого сигнала от среднего $\Delta f_{n,m}$ ($n = 1, \dots, N_k, k = 1, \dots, K, m = 1, \dots, M$) (в общих фактах);
- правил, описывающих правила преобразования данных – соотношения (2) и (3) (в правилах, описывающих целесообразные преобразования данных);

– *рабочая память*, обеспечивающая хранение текущих значений измеренных значений фаз сигналов $\Psi_n^{(i)}(t_m)$, относительных нестабильностей и средних частот генераторов

$\delta \mathbf{f} = \{\delta f_1, \dots, \delta f_{N_k}\}$, $\delta \sigma = \{\delta \sigma_1, \dots, \delta \sigma_{N_k}\}$ ($n = 1, \dots, N_k, k = 1, \dots, K$), получаемых от решателя, а также промежуточные данные решаемой в текущий момент задачи;

– *подсистема решений (решатель)*, обеспечивает получение оценок:

- средних значений частоты каждого РМ_k;
- отклонений текущих значений от средних значений частоты, относительной нестабильности частоты сигналов $\delta f_1, \delta f_2, \dots, \delta f_{N_k}$, ($n = 1, \dots, N_k, k = 1, \dots, K$) генераторов РМ_k;
- относительной нестабильности частоты генераторов;

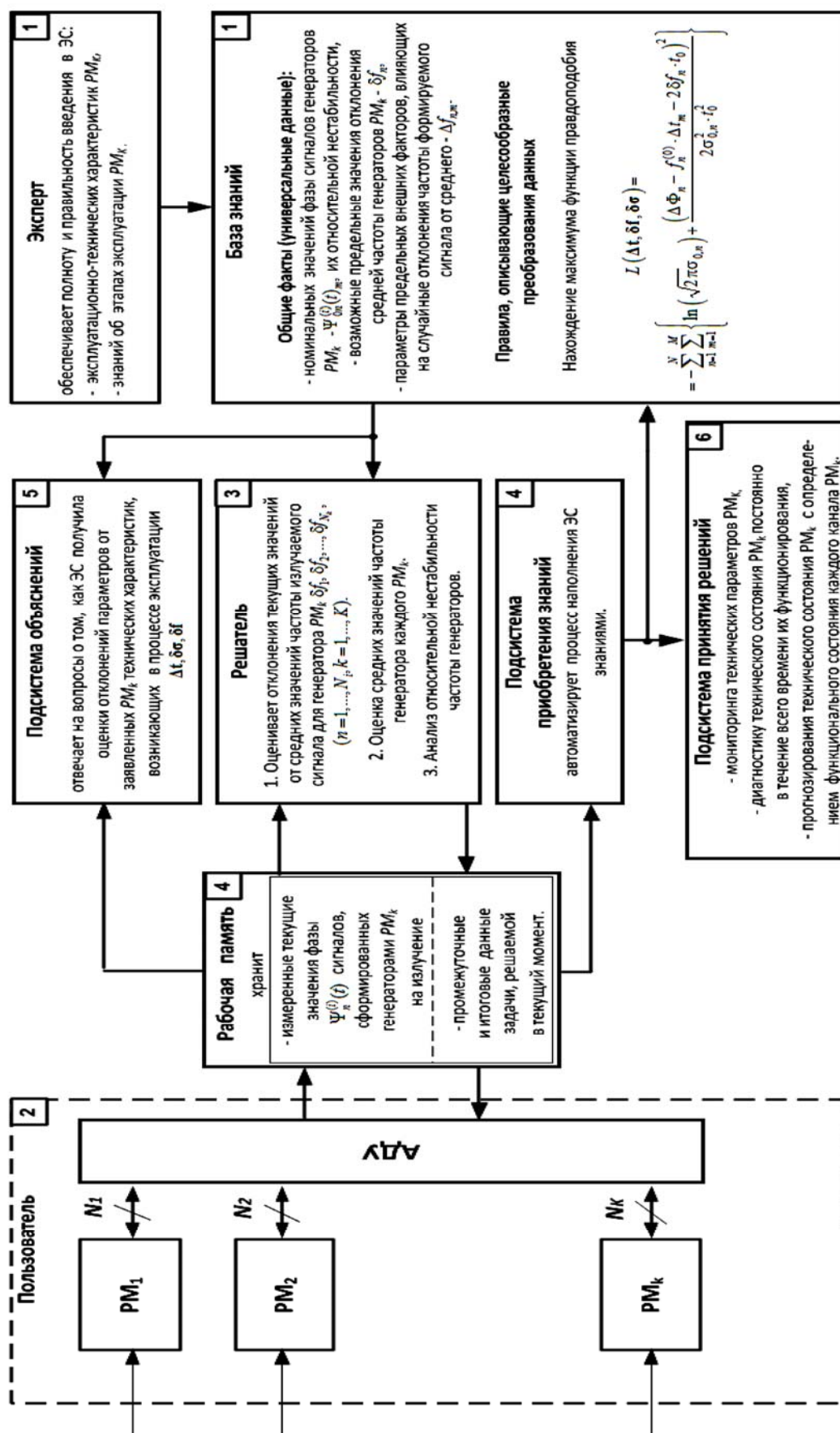


Рис. 2. Вариант построения системы интеллектуального контроля

- *подсистема приобретения знаний* автоматизирует процесс наполнения ЭС знаниями, приобретенными в ходе функционирования РМ;
- *подсистема объяснений*, отвечающая на вопросы об алгоритме получения оценок отклонений параметров РМ от заявленных технических характеристик в процессе эксплуатации;
- подсистема принятия решений, обеспечивает:
 - мониторинг технических параметров РМ_k;
 - диагностику технического состояния РМ_k постоянно в течение всего времени их функционирования;
 - прогнозирование технического состояния РМ_k с определением функционального состояния каждого канала РМ_k.

Алгоритм функционирования СИИ включает следующие группы операций.

1. Первая группа операций связана с введением, контролем полноты и правильности введения экспертом в базу знаний экспертной системы эксплуатационно-технических характеристик РМ, их изменением на различных этапах эксплуатации, включая сезонные изменения погодных условий.

При выполнении указанных операций для каждого генератора всех РМ вносятся:

- длительности временных интервалов измерения;
- номинальные значения фазы сигналов генераторов РМ;
- значения относительной нестабильности генераторов;
- возможные предельные значения отклонения средней частоты генераторов;
- параметры внешних факторов, влияющих на отклонения частоты сигнала генератора.

Кроме того, в базу знаний экспертной системы экспертом вводятся правила, описывающие преобразования измеряемых пользователем данных, – соотношения (2) и (3).

2. Вторая группа операций определяет:

- проведение измерений текущих значений фазы сигнала $\Psi_n^{(k)}(t)$, формируемого каждым генератором всех РМ на излучение;
- дальнейшее преобразование к единому формату представления данных получаемых значений фазы с привязкой к моментам измерений для передачи в аппаратуру дистанционного управления, рабочую память и далее в решатель.

3. При выполнении третьей группы операций в решателе определяются оценки:

- отклонения длительности временного интервала от заданного;
- значений средней частоты генераторов каждого РМ от заданного значения, определяемого назначением РМ и условиями его применения;
- отклонения текущих значений частоты генераторов всех РМ от соответствующих средних значений;
- относительной нестабильности частоты генераторов всех РМ.

Полученные данные передаются в экспертную систему для пополнения базы знаний.

4. Подсистема приобретения знаний обеспечивает ввод получаемых при выполнении третьей группы операций оценок в базу знаний для расширения содержащихся в ней сведений и одновременно передает эти же данные в подсистему принятия решений, в которой формируются оценки текущих значений частоты и относительных нестабильностей генераторов.

После первичной обработки в АДУ информация от пользователя об отклонениях $\delta f_1, \delta f_2, \dots, \delta f_{N_k}$ текущих значений частоты от средних значений частоты каждого из N_k генераторов k -го радиомаяка РМ_k ($n = 1, \dots, N_k, i = 1, \dots, K$) поступает в рабочую память и из нее в подсистему объяснений.

5. В подсистеме объяснений формируются ответы на запросы, как и на основе каких данных получены оценки отклонения параметров РМ от заданных, а также выдаются значения отклонения указанных параметров.

6. На основе данных, поступающих из подсистемы приобретения знаний, в подсистеме принятия решений организуется:

- мониторинг технического состояния каждого генератора всех PM_k ;
- диагностика, в результате которой определяются значения параметров системы PM_k ;
- прогнозирование по результатам последовательных измерений на каждом из измерительных интервалов, позволяющее дать вероятностное изменение параметров генераторов PM_k .

Повышение достоверности контроля определяется увеличением полноты и глубины контроля генераторного оборудования РМ (стабильности и соответствия номинальным значениям параметров выходных сигналов передающих и приемных устройств). Предложенная система функционального контроля позволяет не только контролировать разностные ДН и равносигнальные направления, но и значения параметров генераторов, которые интегрально определяют формируемое электромагнитное поле РМ [10, 13, 14]. На основе полученных значений оценок параметров и их изменения принимается решение о состоянии контролируемых генераторов РМ по критерию НОРМА – УХУДШЕНИЕ – АВАРИЯ. Достоинством построения системы функционального контроля является высокая точность получаемых оценок измеряемых параметров генераторов и возможность параллельного контроля каналов всех РМ.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Полученные в ходе исследований результаты показывают следующее.

1. Системы искусственного интеллекта позволяют решать на основе единого подхода задачи мониторинга, диагностики и прогнозирования технического состояния радиомаяков, входящих в состав передающего оборудования навигационно-посадочного комплекса аэропорта. Информационная составляющая функционирования СИИ связана с измерением фаз сигналов, формируемых генераторами навигационно-посадочного комплекса аэропорта, а также с данными, определяющими номинальные значения технических характеристик этих генераторов в различных условиях эксплуатации.

2. Принятие решений СИИ основывается на постоянном анализе параметров генераторов, получаемых с использованием многомерной функции правдоподобия, связывающей между собой значения измеряемых фаз сигналов и текущие характеристики генераторов, такие как средняя частота и относительная нестабильность формируемых сигналов, а также их изменение с течением времени.

На основе полученных значений оценок параметров и их изменения принимается решение о состоянии контролируемых генераторов РМ по критерию НОРМА – УХУДШЕНИЕ – АВАРИЯ.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Бехтер А.Т. Методология формирования и оценки эффективности технической эксплуатации авиационной техники // Труды ГосНИИАС. Серия: Вопросы авионики. 2021. № 2 (53). С. 34–40.

2. Осипов Д.В., Чурикова О.О. Автоматизация и искусственный интеллект на транспорте: тенденции развития // Тренды экономического развития транспортного комплекса России: форсайт, прогнозы и стратегии: сборник научных трудов национальной научно-практической конференции. Москва, 18 марта 2020 г. М.: ИНФРА-М, 2020. С. 179–181.

3. Войтович Н.И., Жданов Б.В. Способ летных проверок наземных средств радиотехнического обеспечения полетов и устройства для его применения. Патент RU № 2501031 С2. 10.12.2013 г.

4. **Гончаренко В.И., Рожнов А.В., Теплов Г.И.** Планирование и координация маршрутов полета беспилотных авиационных систем в интересах организации и оценки качества систем подвижной связи // Распределенные компьютерные и телекоммуникационные сети: управление, вычисление, связь (DCCN-2018): материалы XXI Международной научно-практической конференции, Москва, 17–21 сентября 2018 г. С. 220–229.
5. **Яшин А.И.** Имитационное моделирование автоматизированной системы контроля технического состояния элементов распределенных радиопередатчиков / А.И. Яшин, П.А. Будко, А.М. Винограденко, А.В. Педан // Морская радиоэлектроника. 2018. № 1 (63). С. 32–37.
6. **Ивануткин А.Г.** Методика оценки эффективности радиотехнического обеспечения полетов авиации // Военная мысль. 2016. № 7. С. 33–40.
7. **Козлов А.В., Животиков В.В.** Система автоматического зависимого наблюдения, меры по повышению безопасности воздушного движения // Авиация: прошлое, настоящее, будущее: материалы Международной научно-практической конференции (Авиатранс-2020). Ростов-на-Дону, 20–21 октября 2020 г. С. 121–124.
8. **Светличный Ю.А., Дегтярев П.А.** Синхронизация и передача данных в радиотехнических системах с территориально распределенными сегментами // Доклады ТУСУР. 2019. Т. 22, № 3. С. 7–12. DOI: 10.21293/1818-0442-2019-22-3-7-12
9. **Воробьев В.В., Власова А.В.** Роль радиоэлектронного оборудования в управлении безопасностью полетов при реализации глобального аэронавигационного плана ИКАО // Научный Вестник МГТУ ГА. 2017. Т. 20, № 4. С. 156–161. DOI: 10.26467/2079-0619-2017-20-4-156-161
10. **Костенко П.И., Левченко А.Н., Акулов Г.А.** Вариант построения схемы выравнивания фазового фронта линейной антенной решетки системы курсового радиомаяка // Инновационные аспекты развития гражданской авиации: сборник трудов Международной научно-практической конференции (Авиатранс-2016). Ростов-на-Дону, 31 марта – 1 апреля 2016 г. Ростов-на-Дону: Общество с ограниченной ответственностью «Фонд науки и образования», 2016. С. 189–193.
11. **Войтович Н.И., Жданов Б.В.** Способ регулировки информационного параметра курсо-глиссадных радиомаяков и устройства его реализации (варианты). Патент RU № 2695316 С2. 23.07.2019 г.
12. **Зотов А.В., Жданов Б.В., Войтович Н.И.** Диаграммы направленности антенны курсового радиомаяка ILS на поверхности с поперечным уклоном // Вестник Южно-уральского государственного университета. Серия: Компьютерные технологии, управление, радиоэлектроника. 2014. Т. 14, № 4. С. 5–27.
13. **Габриэльян Д.Д., Костенко П.И., Сафарьян О.А.** Особенности использования статистического метода стабилизации частоты генераторов в распределенных информационно-измерительных системах // Научный Вестник МГТУ ГА. 2019. Т. 22, № 6. С. 75–85. DOI: 10.26467/2079-0619-2019-22-6-75-85
14. **Габриэльян Д.Д., Костенко П.И., Сафарьян О.А.** Повышение стабильности частоты ВЧ-сигналов в передающем устройстве курсового радиомаяка на основе статистического оценивания фаз // Научный Вестник МГТУ ГА. 2020. Т. 23, № 5. С. 19–28. DOI: 10.26467/2079-0619-2020-23-5-19-28
15. Искусственный интеллект: справочник. В 3 кн. Кн. 2: Модели и методы / Под ред. Д.А. Поспелова. М.: Радио и связь, 1990. 304 с.
16. **Винограденко А.М., Меженев А.В., Будко Н.П.** К вопросу обоснования понятийного аппарата неразрушающего экспресс-контроля технического состояния оборудования системы связи и радиотехнического обеспечения аэродрома // Научные технологии в космических исследованиях Земли. 2019. Т. 11, № 6. С. 30–44. DOI: 10.24411/2409-5419-2018-10293
17. **Абрамов О.В.** Планирование профилактических коррекций параметров технических устройств и систем // Информатика и системы управления. 2017. № 3 (53). С. 55–66. DOI: 10.22250/isu.2017.53.55-66

18. Kotenko I.V. An approach for intelligent evaluation of the state of complex autonomous objects based on the wavelet analysis / I.V. Kotenko, P.A. Budko, A.M. Vinogradenko, I.B. Saenko // The 18th International conference on intelligent software methodologies, tools and techniques (SOMET'2019). Kuching, Sarawak, Malaysia, 23–25 September 2019. P. 25–38. DOI: 10.3233/FAIA190036

19. Винограденко А.М., Будко Н.П. Адаптивный контроль технического состояния сложных технических объектов на основе интеллектуальных технологий // Т-Comm: Телекоммуникации и транспорт. 2020. Т. 14, № 1. С. 25–36. DOI: 10.36724/2072-8735-2020-14-1-25-35

20. Будко П.А. Метод многомерного статистического контроля технического состояния радиоэлектронного оборудования / П.А. Будко, А.М. Винограденко, В.К. Гойденко, Л.И. Тимошенко // Датчики и системы. 2018. № 3 (223). С. 3–11.

21. Будко П.А. Способ и устройство интеллектуального экспресс-контроля технического состояния наземных средств связи радиотехнического обеспечения полетов / П.А. Будко, А.М. Винограденко, А.В. Меженев, А.А. Чикирев // Системы управления, связи и безопасности. 2020. № 1. С. 235–283. DOI: 10.24411/2410-9916-2020-10108

СВЕДЕНИЯ ОБ АВТОРАХ

Габриэлян Дмитрий Давидович, доктор технических наук, профессор, заместитель начальника НТК по науке ФГУП «РНИИРС», d.gabrieljan2011@yandex.ru.

Костенко Петр Иванович, кандидат технических наук, доцент кафедры авиационного электрорадиоприборного оборудования Ростовского филиала МГТУ ГА, pit.kostenko.73@mail.ru.

Сафарьян Ольга Александровна, кандидат технических наук, доцент кафедры кибербезопасности информационных систем Донского государственного технического университета, safari_2006@mail.ru.

THE INTELLIGENT CONTROL SYSTEM FOR THE TECHNICAL RADIO BEACONS CONDITION OF THE NAVIGATION AND LANDING COMPLEX

Dmitry D. Gabrielyan¹, Petr I. Kostenko², Olga A. Safaryan³

¹*Rostov-on-Don Research Institution of Radio Communication,
Rostov-on-Don, Russia*

²*Rostov Branch of Moscow State Technical University of Civil Aviation,
Rostov-on-Don, Russia*

³*Don State Technical University, Rostov-on-Don, Russia*

The research was conducted with the financial support of the Russian Foundation for Basic Research, grant № 19-01-00151/21

ABSTRACT

The article considers the possibility of developing control systems for the technical condition of radio beacons (RB) transmitting channels generators for the airport navigation and landing complex using artificial intelligence systems (AIS). The feature of using AIS to develop the technical control system is integrating a multidimensional likelihood function into the knowledge base. By means of merely measurements of signal phases generated in RB, the given function makes it possible to evaluate:

- average frequencies of generated signals in RB;
- deviations of average frequencies from the required values throughout the entire observation interval;
- random deviations of the current frequency values from the average ones at each measurement interval;

– relative frequency instabilities of each of generators.

The results obtained and their variation over the time allow us to carry out:

– monitoring the technical condition of RB channels generators;

– diagnostics of the technical condition of RB channels generators;

– forecasting the technical condition of RB channels generators and making a decision concerning the status of the controlled generators according to the CORRECT OPERATION-DETERIORATION-FAILURE criterion.

Key words: navigation and landing equipment, remote control hardware, radio beacon, HF signal, frequency stability, phase synchronization, estimates of frequency and phase deviations from nominal values.

REFERENCES

1. **Bekhter, A.T.** (2021). *Aeronautical equipment maintenance system engineering and management efficiency assessment methodology*. Trudy GosNIIAS. Seriya: Voprosy avioniki, no. 2 (53), p. 34–40. (in Russian)
2. **Osipov, D.V. and Churikova, O.O.** (2020). *Automation and artificial intelligence in transport: development trends*. Trendy ekonomicheskogo razvitiya transportnogo kompleksa Rossii: forsayt, prognozy i strategii: sbornik nauchnykh trudov natsionalnoy nauchno-prakticheskoy konferentsii [Trends in the economic development of the Russian transport complex: foresight, forecasts and strategies: proceedings of the national scientific and practical conference]. Moscow: INFRA-M, p. 179–181. (in Russian)
3. **Voitovich, N.I. and Zhdanov, B.V.** (2011). *Method for flight inspection of ground-based radio flight support equipment and apparatus for realising said method*. Patent RU, no. 2501031 C2, December 10, 2013. (in Russian)
4. **Goncharenko, V.I., Rozhnov, A.V. and Teplov, G.I.** (2018). *Planirovaniye i koordinatsiya marshrutov poleta bespilotnykh aviatsionnykh sistem v interesakh organizatsii i otsenki kachestva sistem podvizhnoy svyazi* [Planning and coordination of flight routes for unmanned aircraft systems in the interests of organizing and evaluating the quality of mobile communication systems]. Raspredeleniyye kompyuternyye i telekommunikatsionnyye seti: upravleniye, vychisleniye, svyaz (DCCN-2018): materialy XXI Mezhdunarodnoy nauchno-prakticheskoy konferentsii [Distributed computer and telecommunication networks: control, computing, communication (DCCN-2018): materials of the XXI International Scientific and Practical Conference]. Moscow, p. 220–229. (in Russian)
5. **Yashin, A.I., Budko, P.A., Vinogradenko, A.M. and Pedan, A.V.** (2018). *Simulation of an automated system for monitoring of the technical state of distributed radio centers*. Morskaya Radioelektronika, no. 1 (63). p. 32–37. (in Russian)
6. **Ivanutkin, A.G.** (2016). *Methods of evaluation of the effectiveness of radiotechnical support of air flights*. Voennaya Mysl, no. 7, p. 33–40. (in Russian)
7. **Kozlov, A.V. and Zhivotikov, V.V.** (2020). *Sistema avtomaticheskogo zavisimogo nablyudeniya, mery po povysheniyu bezopasnosti vozdušnogo dvizheniya* [System of automatic dependent surveillance, measures to improve air traffic safety]. Aviatsiya proshloye, nastoyashcheye, budushcheye: materialy Mezhdunarodnoy nauchno-prakticheskoy konferentsii (Aviatrans-2020) [Past, present and future of aviation: materials of the International scientific and practical conference (Aviatrans-2020)]. Rostov-on-Don, p. 121–124. (in Russian)
8. **Svetlichniy, Yu.A. and Degtyarev, P.A.** (2019). *Synchronization and data transmission in multistatic radar systems*. Proceedings of the Tsur University, vol. 22, no. 3, p. 7–12. DOI: 10.21293/1818-0442-2019-22-3-7-12 (in Russian)
9. **Vorobyov, V.V. and Vlasova, A.V.** (2017). *The role of navigational aids in flight safety management within ICAO global air navigation plan*. Civil Aviation High Technologies, vol. 20, no. 4, p. 156–161. DOI: 10.26467/2079-0619-2017-20-4-156-161 (in Russian)

10. Kostenko, P.I., Levchenko, A.N. and Akulov, G.A. (2016). *Variant postroyeniya skhemy vyравnivaniya fazovogo fronta lineynoy antennoy reshetki sistemy kursovogo radiomayaka* [Variant of constructing the alignment scheme of the phase front of the course beacon system linear antenna array]. *Innovatsionnyye aspekty razvitiya grazhdanskoy aviatsii: sbornik trudov Mezhdunarodnoy nauchno-prakticheskoy konferentsii (Aviatrans-2016)* [Innovative aspects of civil aviation development: materials of the International scientific and practical conference (Aviatrans-2016)]. Rostov-on-Don: OOO «Fond nauki i obrazovaniya», p. 189–193. (in Russian)

11. Voytovich, N.I. and Zhdanov, B.V. (2019). *Method for adjusting information parameter of course-glide path beacons and its implementation device (embodiments)*. Patent RU, no. 2695316 C2, July 23, 2019. (in Russian)

12. Zotov, A.V., Zhdanov, B.V. and Voytovich, N.I. (2014). *Antenna pattern of ILS localizer on the surface with transverse-slope*. Bulletin of the south Ural state university. Series: computer technologies, automatic control, radio electronics, vol. 14, no. 4, p. 5–27. (in Russian)

13. Gabrielyan, D.D., Kostenko, P.I. and Safaryan, O.A. (2019). *Features of the use of the statistical method of frequency stabilization of generators in distributed information-measuring systems*. Civil Aviation High Technologies, vol. 22, no. 6, p. 75–85. DOI: 10.26467/2079-0619-2019-22-6-75-85 (in Russian)

14. Gabrielyan, D.D., Kostenko, P.I. and Safaryan, O.A. (2020). *Increasing frequency stability of hf signals in the transmitting device of the localiser based on statistical estimation of phases*. Civil Aviation High Technologies, vol. 23, no. 5, p. 19–28. DOI: 10.26467/2079-0619-2020-23-5-19-28 (in Russian)

15. Pospelov, D.A. (Ed.). (1990). *Iskusstvennyy intellekt: spravochnik. V 3 knigakh. Kn. 2: Modeli i metody* [Artificial Intelligence: handbook: in three volumes. Vol. 2: Models and methods]. Moscow: Radio i svyaz, 304 p. (in Russian)

16. Vinogradenko, A.M., Mehzenov, A.V. and Budko, N.P. (2019). *To the question of substantiation of the conceptual apparatus nondestructive express control of technical condition equipment of communication system and aerodrome radio engineering support*. High Technologies in Earth Space Research. H&Es Research, vol. 11, no. 6, p. 30–44. DOI: 10.24411/2409-5419-2018-10293 (in Russian)

17. Abramov, O.V. (2017). *Planning of preventive corrections of parameters of engineering devices and systems*. Informatika i Sistemy Upravleniya, no. 3 (53), p. 55–66. DOI: 10.22250/isu.2017.53.55-66 (in Russian)

18. Kotenko, I.V., Budko, P.A., Vinogradenko, A.M. and Saenko, I.B. (2019). *An approach for intelligent evaluation of the state of complex autonomous objects based on the wavelet analysis*. The 18th International conference on intelligent software methodologies, tools and techniques (SOMET'2019). Kuching, Sarawak, Malaysia, 23–25 September 2019. P. 25–38. DOI: 10.3233/FAIA190036

19. Vinogradenko, A.M. and Budko, N.P. (2020). *Adaptive control of technical condition of autonomous complex technical objects on the basis of intelligent technologies*. T-Comm, vol. 14, no. 1, p. 25–36. DOI: 10.36724/2072-8735-2020-14-1-25-35 (in Russian)

20. Budko, P.A., Vinogradenko, A.M., Goydenko, V.K. and Timoshenko, L.I. (2018). *Method of multidimensional statistical control of technical condition of the radio-electronic equipment on the basis of the integration of indications of several types of sensors*. Sensors & Systems, no. 3 (223), p. 3–11. (in Russian)

21. Budko, P.A., Vinogradenko, A.M., Mezhenov, A.V. and Chikirev, A.A. (2020). *Method and equipment of the intelligent express control of the technical condition of ground-based means of communication and radio-technical flight support*. Systems of Control, Communication and Security, no. 1, p. 235–283. DOI: 10.24411/2410-9916-2020-10108 (in Russian)

INFORMATION ABOUT THE AUTHORS

Dmitry D. Gabrielyan, Doctor of Technical Sciences, Professor, Deputy Head of Science, Scientific and Technological Complex, FSUE Rostov-on-Don Research Institution of Radio Communication, d.gabrieljan2011@yandex.ru.

Petr I. Kostenko, Candidate of Technical Sciences, Associate Professor of the Aeronautical Electronic Radio Equipment Chair, Rostov Branch of Moscow State Technical University of Civil Aviation, pit.kostenko.73@mail.ru.

Olga A. Safaryan, Candidate of Technical Sciences, Associate Professor of the Cyber-Security of Information Systems Chair, Don State Technical University, safari_2006@mail.ru.

Поступила в редакцию 09.08.2021
Принята в печать 25.01.2022

Received 09.08.2021
Accepted for publication 25.01.2022