

УДК 621.396.962.3

Многофункциональная РЛС малой дальности для удалённой диспетчеризации региональных аэропортов

д.т.н., профессор Федоров И. Б.¹,

Слукин Г. П.¹, Нефедов С. И.^{1,*},

Скосырев В. Н.¹, Ананенков А. Е.²,

Нуждин В. М.²

*nefedov@bmstu.ru

¹МГТУ им. Н.Э. Баумана, Москва, Россия

²МАИ, Москва, Россия

Предложен вариант радиолокатора нового поколения для диспетчерских служб региональных аэродромов, решающий проблему импортозамещения тепловизионного датчика в создаваемой аэродромной системе удалённой диспетчеризации. Предложенный радиолокатор обеспечивает решение импортозамещения не поставляемого в РФ ИК-датчика системы удалённого диспетчерирования аэропортов. Показано, что дополнительными преимуществами такого решения становятся устойчивость к неблагоприятным метеорологическим факторам и возможность одновременного сопровождения многих целей, среди которых не только воздушные суда, но и другие объекты на территории лётного поля.

Ключевые слова: радиолокация, удаленная диспетчеризация, тепловизионный датчик, региональный аэродром, инфракрасный диапазон

Введение

В настоящее время в нашей стране развитие гражданского авиационного транспорта идёт в следующих направлениях:

- во-первых, начинает возрождаться авиационное сообщение напрямую между регионами, проводятся работы по восстановлению брошенных аэродромов;
- во-вторых, интенсивно развивается малая авиация как транспортное средство и как средство развлечения.

Для функционирования всех типов гражданских воздушных судов требуются аэродромы, оснащённые необходимой службой с информационными датчиками, обеспечивающими диспетчера необходимой информацией для безопасного управления транспортными потоками, как в воздухе, так и на лётном поле. Целью настоящей статьи является рассмотрение новейшей тенденции оснащения аэродромов системами удалённого диспет-

чирования и преломление этой тенденции в практическую плоскость внедрения наиболее перспективной отечественной радиолокационной технологии сверхкороткоимпульсной радиолокации (СКИРЛ) в радиолокационные системы обзора лётного поля (ОЛП) аэродромов [1].

1. Основная часть

В аэропортах мегаполисов и крупных региональных центрах существуют диспетчерские службы, с различными информационными датчиками, в первую очередь это несколько типов специализированных РЛС и ТВ-камеры. В то же время даже в существующих региональных аэропортах оснащение диспетчерских служб современными информационными датчиками практически отсутствует. Устаревшее радиолокационное оборудование в аэропортах приводит к трагедиям с человеческими жертвами. Ещё хуже обстоит дело с оснащением аэродромов малой авиации.

Понятно, что при широком развитии небольших и слабо нагруженных аэродромов снижение затрат на реализацию информационно-диспетчерской поддержки становится весьма актуальной задачей. Как у нас, так и в других странах, проблему решают путём применения универсальных информационных датчиков. Впервые в отечественной практике предлагается создание удалённо-централизованных диспетчерских служб, когда один диспетчер находится на большом (сотни километров) расстоянии от обслуживаемых аэропортов, имея при этом возможность контролировать полёты с нескольких аэропортов удалённо с помощью системы дистанционных датчиков.

В частности для одного из аэродромов Московского региона (пос. Ермолино, Калужской области), который переоборудуется в настоящее время для организации базирования авиакомпаний лоукостеров (авиакомпания «ЮТэйр» уже получила разрешение на базирование на аэродроме), предполагается установка системы удалённого диспетчирования, фирмы Frequentis, построенной на основе следующих датчиков: ТВ-камер, тепловизора и лазерного дальномера. Общая концепция построения такой системы приведена на рис. 1 [2].

Концепция фирмы Frequentis предусматривает объединение набора информационных датчиков локального аэропорта и удалённый командный центр (башню) посредством сетевых технологий с единой шкалой времени и минимальной задержкой доставки данных. При этом единый удалённый командный центр способен обслуживать несколько региональных аэродромов.

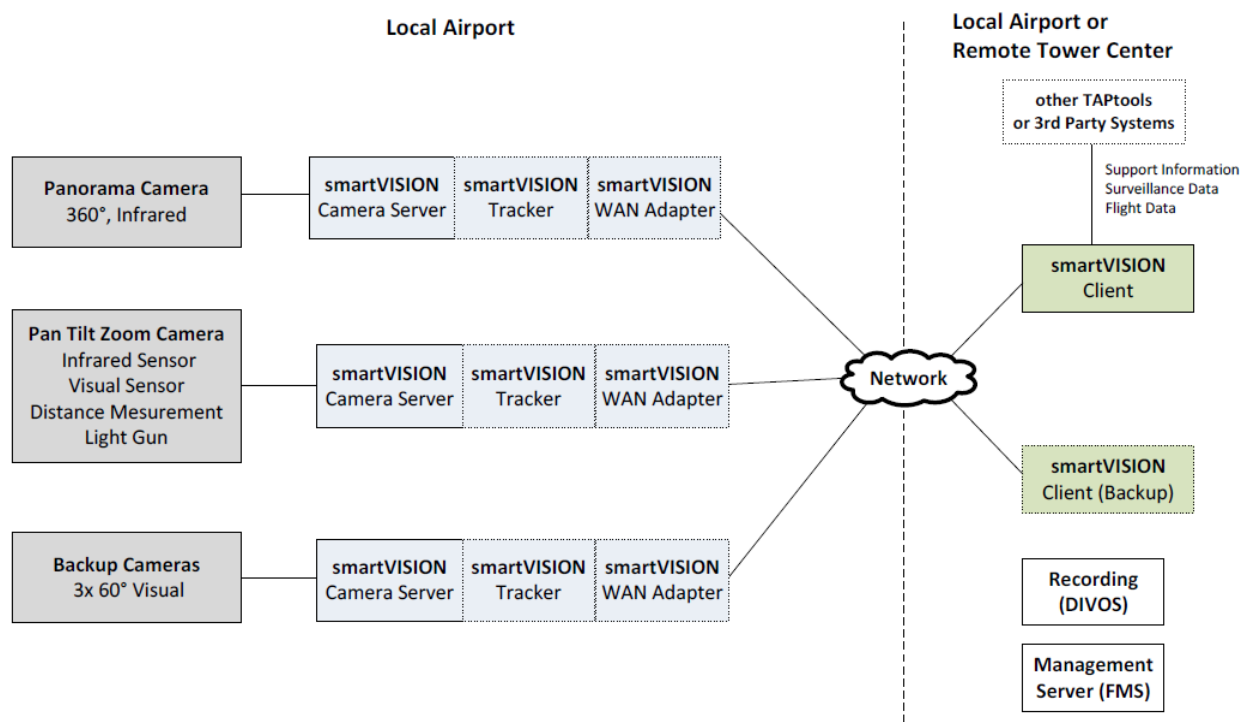


Рис. 1 Схема построения удалённой системы контроля фирмы Frequentis

Информация ТВ-камер должна дополняться в ночное время и при ухудшении погодных условий изображением с ИК-камеры (тепловизора) см. рис. 2. Организация удалённого места диспетчера представлена на рис. 3.

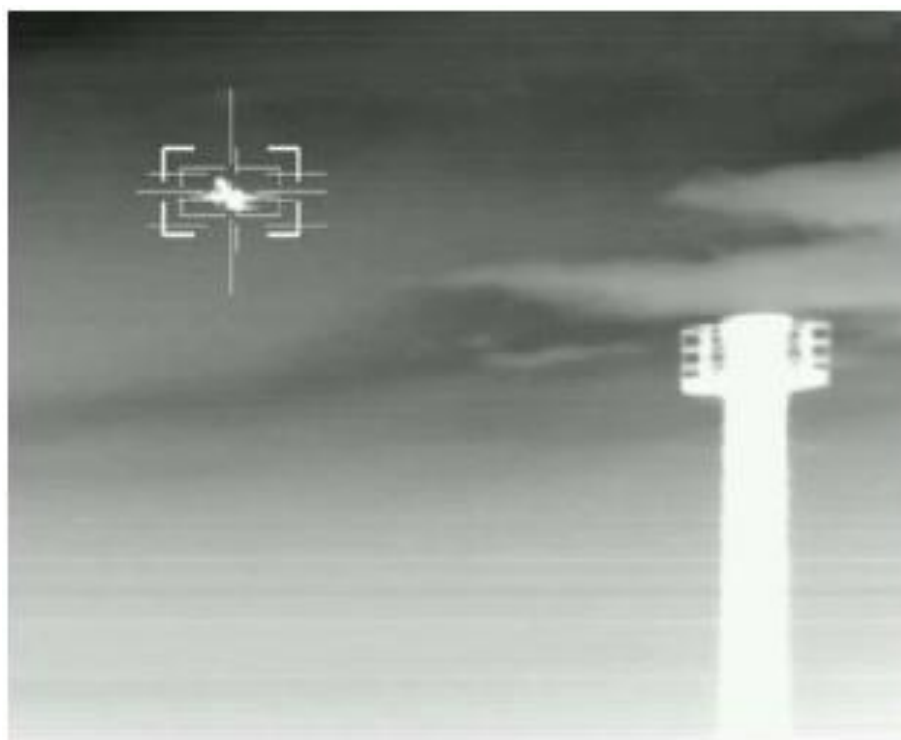


Рис. 2. Пример изображения ЛА с ИК-камеры в режиме сопровождения.

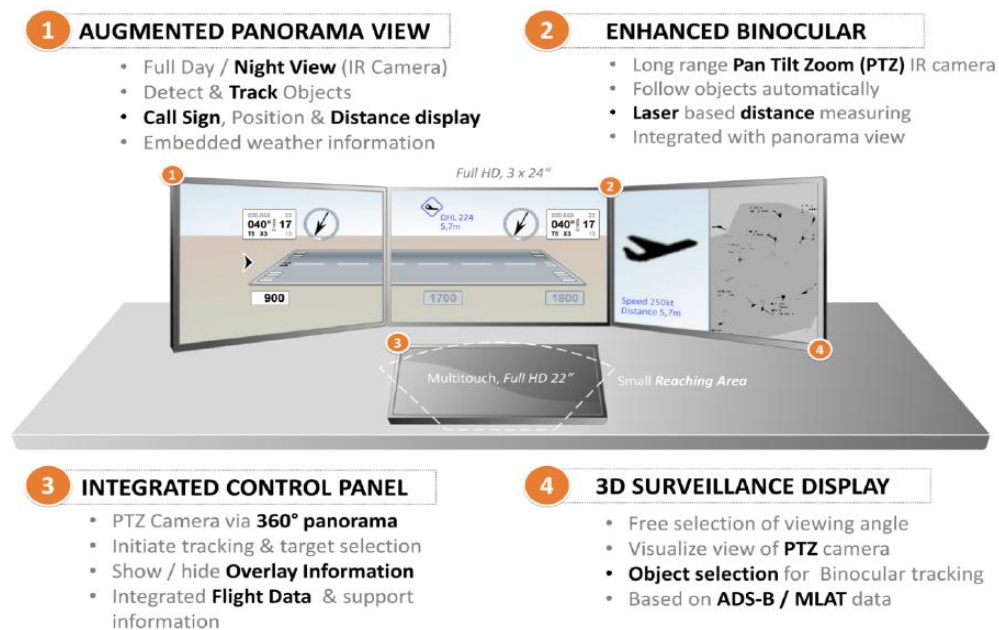


Рис. 3. Организация удалённого рабочего места диспетчера.

Характеристики применяемого ИК-сенсора приведены в табл. 1. Однако в сложившихся в настоящее время условиях взаимодействия России со странами ЕС, планируемый к поставке ИК-датчик подпадает под список ограничений высокотехнологичных товаров, поставляемых в Россию, что приводит к невозможности полноценного оборудования локального аэродрома запланированной системой датчиков, поскольку аналогичного класса ИК-сенсоры в нашей стране не производятся.

Таблица 1. Характеристики ИК-сенсора системы дистанционного диспетчирования

Параметр	Значение
Field of view (horizontally), °	360
Field of view (vertically) for short range detection, °	15<x<20
Remote offset adjustment during operation, °	from +30 to -20
Resolution AZ 360°, columns	7200
Resolution EL, lines	576
Image refresh rate, Hz	>3
Spectrum range, μm	8...12
Fibre optic data transmission (transmitter), nm	1550
Fibre optic data transmission (receiver), nm	1310
Cooler temperature. ° Kelvin	<80
Cooling time until thermal sight is ready, minutes	<8
Supply voltage, V, DC	28
Typ. Power consumption, W	280
Weight, kg	<50
Operational temperature, °C	-10...+55

Очевидным недостатком предложенной системы является одноканальность измерителя дистанции до цели. Полный комплект датчиков, предлагаемый к установке на стороне аэропорта, фирмой Frequentis приведён на рис. 4.

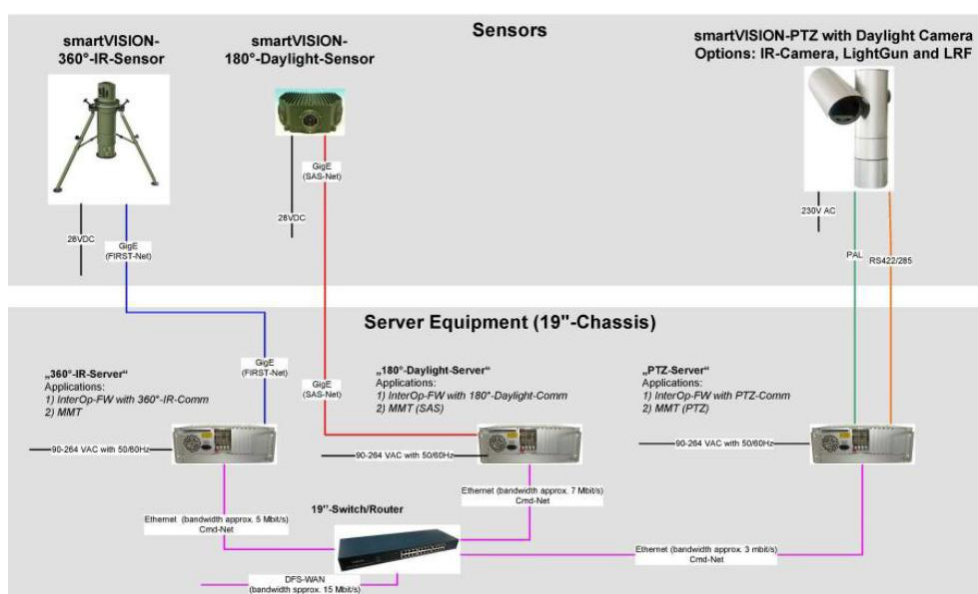


Рис. 4 Комплект датчиков на стороне аэропорта.

Предложенное в проекте фирмы Frequentis сочетание датчиков и их технические возможности по управлению воздушным движением и диспетчированию полётов не привычно для России, в первую очередь вызывает много вопросов их функционирование в сложных метеоусловиях. В частности, не очевидно соответствие так оборудованного аэропорта нормам лётной годности РФ [3, 4].

В настоящее время считается, что наиболее универсальным информационным датчиком для контроля посадки и руления по лётному полю является радиолокатор. Внедрение новых технологий в радиолокации и в первую очередь отечественная технология сверхкороткоимпульсной радиолокации (СКИРЛ) [5, 6] обеспечивают точность и детализацию изображения на индикаторе, а так же оценки дальности, достаточные для диспетчирования полётов, и по ряду параметров (например разрешающей способности по дальности) превосходят требования нормативов для РЛС обзора лётного поля [7].

Желание повысить характеристики углового разрешения информационного датчика приводит к замене радиолокационных систем на телевизионные и ИК-датчики. Однако требование всепогодности средств наблюдения и контроля, необходимых для диспетчера заставляет отказаться от такого подхода. Таким образом, впервые предлагается заменить ИК-датчик радиолокационным датчиком по технологии СКИРЛ. Определённая сложность в такой замене возникает из-за несоответствия темпа и объёма данных различных датчиков, однако это препятствие может быть преодолено при передаче к удалённому диспетчеру видеоданных с РМО РЛС, работающей в автоматическом режиме.

Предлагаемая многофункциональная РЛС основанная на технологии СКИРЛ обеспечивают решение следующих задач [8]:

- контроль лётного поля аэродрома,
- обеспечение диспетчирования полетов ВС в зоне аэродрома,
- контроль посадки/взлёта,
- охранные функции в зоне аэродрома.

Повышение качества решения данных разнообразных задач обеспечивается использованием технологии сверхкороткоимпульсной радиолокации, которая позволяет реализовать уникальные информационные свойства в их числе [9, 10]:

- высокая контрастность радиолокационного изображения (РЛИ) вследствие малого импульсного объема и отсутствия боковых лепестков у автокорреляционной функции импульсного сигнала;
- возможность наблюдения целей с малым значением ЭПР на фоне подстилающей поверхности за счёт уменьшения мощности фоновой засветки и, следовательно, роста отношения сигнал/фон. Аналогично уменьшается влияние гидрометеоров или облаков, с учётом того, что рассеяние определяется не площадью, а объёмом элементарных отражателей;
- возможность наблюдения целей с малым значением ЭПР в непосредственной близости от интенсивно отражающих целей и местных предметов за счёт отсутствия боковых лепестков у автокорреляционной функции;
- возможность селекции движущихся целей без использования эффекта Доплера, а, следовательно, отсутствие «слепых скоростей» в возможном диапазоне скоростей цели;
- возможность нетраекторного определения ориентации ВС на РД за счёт реализации режима радиовидения (см. рис. 5);
- малая средняя мощность излучения за счёт высокой скважности зондирующих сигналов [11], обеспечивающая экологическую безопасность предлагаемой РЛС.

Ниже приведены результаты полигонных испытаний макета РЛС по технологии СКИРЛ иллюстрирующие высокое качество получаемых радиолокационных изображений. На рис. 5 представлена фотография и соответствующее ей радиолокационное изображение маневрирующего на рулёжной дорожке (РД) Ан-24. На РЛИ хорошо видны габариты и ориентация самолёта. Применение технологии СКИРЛ впервые позволяет использовать не траекторную информацию для определения ориентации ВС на РД и ВПП,

что особенно важно при малых скоростях движения. Кроме того на РЛИ контрастно выделяется граница между травой лётного поля и бетоном РД.



Рис. 5 Наблюдение СКИ РЛС ориентации Ан-24 на РД.

В качестве иллюстрации возможности определения и распознавания типа транспортного средства по РЛИ и дальномерному портрету приведен фрагмент радиолокационного изображения сцепки грузовиков на лётном поле (см. рис. 6). На РЛИ автомобили отчётливо наблюдаются раздельно (показаны красным). Общий габарит отметки так же увеличился более чем в 2 раза. Здесь же показана группа людей (жёлтым), отчётливо наблюдаемая в непосредственной близости от цели со значительным ЭПР (что иллюстрируется осциллограммой).

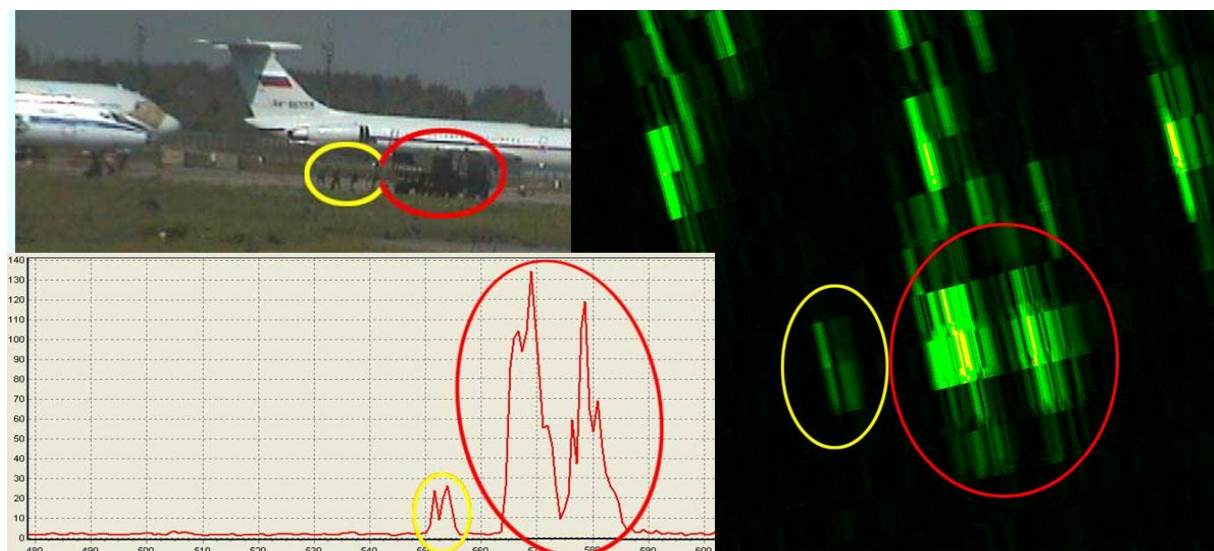


Рис. 6 Наблюдение сцепки автомобилей и людей на РД.

Возможности визуального опознавания и контроля ориентации воздушных судов (ВС) иллюстрирует рис. 7.

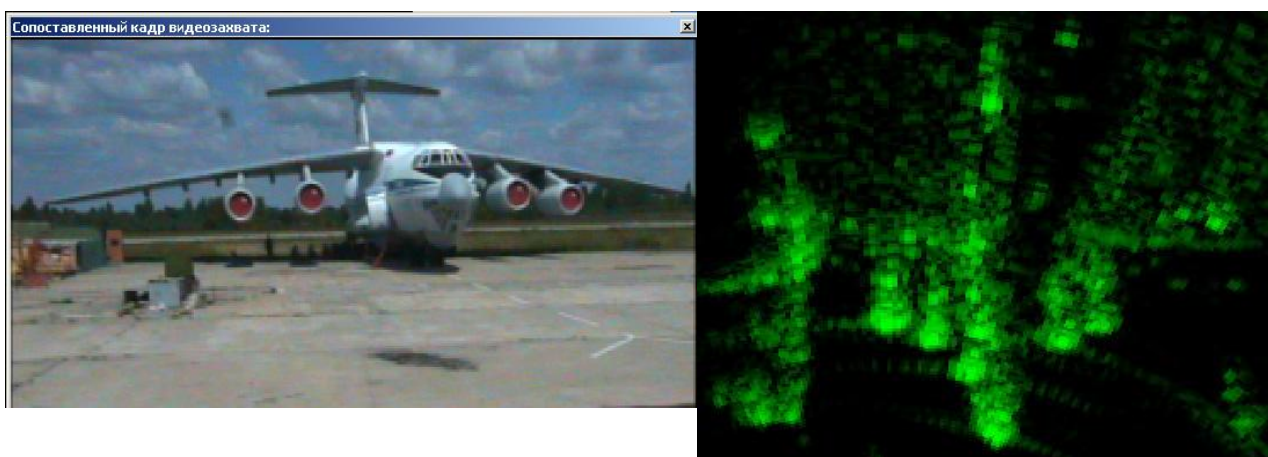


Рис. 7 Фото Ил-76 и соответствующее радиолокационное изображение.

В ходе проведённых испытаний макета РЛС по технологии СКИРЛ на аэродромах различных классов было подтверждено замечательное свойство технологии СКИРЛ, заключающееся в том, что СКИ РЛС не создаёт помех бортовым и аэродромным радиотехническим системам. Более того, высокая скважность излучения ограничивает среднюю мощность, излучаемую передатчиком на уровне единиц ватт, делая такую систему экологически безопасной.

Основные характеристики многофункционального радиолокатора (МФРЛС) нового поколения на основе технологии СКИРЛ для системы дистанционного диспетчирования приведены в табл. 2.

Таблица 2. Основные характеристики МФРЛС системы дистанционного диспетчирования

Параметр	Значение
темп обзора пространства, сек	1;
зона обзора по азимуту, град	360;
зона обзора по углу места, град	от минус 5 до 15;
инструментальная дальность, км	30;
Минимальная длительность импульсного зондирующего сигнала, нс	10-20;
дальность обнаружения воздушной цели с ЭПР = 1 м^2 при вероятности обнаружения $D = 0,5$ и ложной тревоги $F = 10^{-6}$, не менее км	5;
разрешающая способность: по дальности, не более м по азимуту, не более град	2-3; 1;
погрешность определения координат для точечных объектов: по дальности, не более м по азимуту, не более угл. мин	1; 20;
пропускная способность, не менее трасс	50-100;
потребляемая мощность, не более кВА	10.

Включение в комплекс средств наблюдения и контроля аэропорта такого высокоинформативного радиолокационного датчика позволит существенно повысить безопасность воздушных перевозок, снизив нагрузки на диспетчеров посадки и руления, а так же сотрудников службы охраны.

Заключение

Новая радиолокационная технология сверхкороткоимпульсной радиолокации (СКИРЛ) рассмотренная в цикле публикаций [1, 5, 6, 8-10] подготовлена к широкому промышленному внедрению. Сформирован облик многофункционального радиолокатора на основе технологии СКИРЛ для диспетчерских служб региональных аэродромов. Данный радиолокатор обеспечивает контроль взлета и посадки, рулежки и полетов в зоне аэродрома. Предложенный радиолокатор обеспечивает решение импортозамещения не поставляемого в РФ ИК-датчика системы удалённого диспетчирования аэропортов. Впервые в отечественной практике разрешающая способность по дальности РЛС класса ОЛП достигнет 2-3 м. Дополнительными преимуществами такого решения является существенно меньшая метеозависимость (незаменимая в нашем климате) и многоканальность по объектам наблюдения. Кроме того СКИ РЛС за счёт высокой контрастности изображения способна обнаруживать и сопровождать не только воздушные суда, но и другие объекты (автомобили, и даже людей) на территории лётного поля, автоматически контролируя отклонение от разрешённых маршрутов движения, а также решая охранные задачи.

Статья выпущена в рамках НИОКТР "Реализация комплексного проекта по созданию высокотехнологичного производства радиолокационного комплекса для системы управления воздушным движением с удаленной диспетчеризацией", выполняемой МГТУ им. Н.Э. Баумана совместно с ОАО "РТИ" в рамках комплексного проекта по созданию высокотехнологичного производства, в целях реализации постановления Правительства Российской Федерации от 9 апреля 2010 г. № 218 «О мерах государственной поддержки развития кооперации российских высших учебных заведений, государственных научных учреждений и организаций, реализующих комплексные проекты по созданию высокотехнологичного производства», при финансовой поддержке по проекту Министерства образования и науки Российской Федерации.

Список литературы

1. Ananenkov A.E., Skosyrev V.N., Konovaltsev A.V., Nuzhdin V.M., Rastorguev V.V. Multi-functional aerodrome controlradar by USPR technology // Proc. of the 29th Congress of the International Council of the Aeronautical Sciences (ICAS 2014) (St. Petersburg, Russia, 7-12 September 2014). In 6 vols. Vol. 1. International Council of Aeronautical Sciences-ICAS, 2014. Art. no. ICAS2014_0146. P. 3867-3873.
2. FREQUENTIS: website. Available at: <http://www.frequentis.com> , accessed 18.12.2014.

3. Нормы годности к эксплуатации в СССР оборудования гражданских аэродромов и воздушных трасс (НГЭО-81). М.: Воздушный транспорт, 1983. 129 с.
4. Изменения и дополнения к нормам годности к эксплуатации в СССР оборудования гражданских аэродромов и воздушных трасс (НГЭО-81) и методикам оценки соответствия нормам годности к эксплуатации в СССР оборудования гражданских аэродромов и воздушных трасс (МОС НГЭО). Л.: 1991.
5. Скосырев В.Н., Нуждин В.М., Коновальцев А.В., Ананенков А.Е. Технология сверхкороткой радиолокации. Состояние и тенденции развития // 2-я Всероссийская конференция-семинар «Сверхширокополосные сигналы в радиолокации, связи и акустике»: тр. Муром, 2006.
6. Скосырев В.Н., Нуждин В.М., Ананенков А.Е., Коновальцев А.В. Технология сверхкороткоимпульсной радиолокации – ключ к повышению информационных возможностей РЛС // Первая международная конференция «Сверхширокополосные сигналы и сверхкороткие импульсы в радиолокации, связи и акустике» (Суздаль, 27-29 сентября 2005 г.). Суздаль, 2005.
7. ГОСТ Р 51505-99. Система обзора летного поля и управления движением воздушных судов и транспортных средств по аэродрому. Основные параметры и технические требования. М.: Изд-во стандартов, 2000.
8. Скосырев В.Н., Слукин Г.П., Усачёв В.А., Ананенков А.Е., Коновальцев А.В., Нуждин В.М., Соколов П.В. Многофункциональный аэродромный радиолокатор по технологии сверхкороткоимпульсной радиолокации // Вестник МГТУ им. Н.Э. Баумана. Сер. Приборостроение. 2007. № 4. С. 120-122.
9. Скосырев В.Н. Повышение информативности радиолокационных систем на основе технологий сверхширокополосных сигналов // Журнал радиоэлектроники. 2012. № 7. Режим доступа: <http://jre.cplire.ru/koi/jul12/9/text.html> (дата обращения 01.11.2014).
10. Скосырев В.Н., Осипов М.Л., Особенности и свойства короткоимпульсной радиолокации // Вестник МГТУ им. Н.Э. Баумана. Сер. Приборостроение. 1999. № 4. С. 21-30.
11. Ананенков А.Е., Нуждин В.М., Расторгуев В.В., Скосырев В.Н. Особенности оценки характеристик обнаружения в РЛС малой дальности // Радиотехника. 2013. № 11. С. 35-38.

Multifunctional Short-Range Radar System for Distant Regional Airport Traffic Control

I. B. Fedorov¹, G.P. Slukin¹, S.I. Nefedov^{1,*},

[*nefedov@bmstu.ru](mailto:nefedov@bmstu.ru)

V.N. Skosyrev¹, A.E. Ananenko², V.M. Nuzhdin²

¹Bauman Moscow State Technical University, Moscow, Russia

²Moscow Aviation Institute, Moscow, Russia

Keywords: radar, extract traffic control, thermal image sensor, regional airports, infrared range

In the article the actual problem of improving the safety of air transport through the introduction of new technologies in radar equipment airfields. Identified insufficient security of civil aviation transport information sensors that provide the dispatcher with the necessary information for safe traffic management, both in the air and on the airfield. Obsolete radar equipment at airports leads to tragedies with fatalities. Even worse is the case with equipment airfields small aircraft.

This article focuses on the creation remotely-centralized dispatching services when one dispatcher is on a large (hundreds of kilometers) away from the airport, while having the ability to control flights from several airports remotely using remote sensing system. It is shown that the main sensor of such a system should be multifunctional radar. It is given a detailed analysis of the tasks and characteristics of developed radar.

The key difference of the proposed radar system is to combine the functions previously solved several complexes in single radar. Improving the quality of solve various problems provided by using of radar supershort pulses radiolocation (SSPRL) technology. SSPRL technology can improve the contrast of the radar images and to detect small targets on the airfield. An additional advantage of radar, which created by SSPRL technology, is the small average radiation power due to the high duty cycle of probing signals, ensuring environmental safety of the proposed radar.

The proposed version of the new generation of radar for dispatchers regional airfields solves the problem of import substitution thermovision sensor in the airfield remote dispatch system. It is shown that the additional benefits of such solutions become resistance to unfavorable weather factors and the ability to simultaneously maintenance many purposes.

References

1. Ananenko A.E., Skosyrev V.N., Konovaltsev A.V., Nuzhdin V.M., Rastorguev V.V. Multifunctional aerodrome controlradar by USPR technology. *Proc. of the 29th Congress of the International Council of the Aeronautical Sciences (ICAS 2014)*, St. Petersburg, Russia, 7-12

- September 2014. In 6 vols. Vol. 1. International Council of Aeronautical Sciences- ICAS, 2014, art. no. ICAS2014_0146, pp. 3867-3873.
2. FREQUENTIS: website. Available at: <http://www.frequentis.com> , accessed 18.12.2014.
 3. Normy godnosti k ekspluatatsii v SSSR oborudovaniya grazhdanskikh aerodromov i vozdushnykh trass (NGEO-81) [The standards of airworthiness equipment civil airfields and air routes in USSR (NGEO-81)]. Moscow, Vozdushnyy transport Publ., 1983. 129 p. (in Russian).
 4. Izmeneniya i dopolneniya k normam godnosti k ekspluatatsii v SSSR oborudovaniya grazhdanskikh aerodromov i vozdushnykh trass (NGEO-81) i metodikam otsenki sootvetstviya normam godnosti k ekspluatatsii v SSSR oborudovaniya grazhdanskikh aerodromov i vozdushnykh trass (MOS NGEO) [Amendments and additions to the standards of airworthiness equipment civil of airdromes and air routes in USSR (NGEO-81), and methods for assessing conformity with airworthiness equipment in civil airdromes and air lines in USSR (ISO NGEO)]. Leningrad, 1991. (in Russian).
 5. Skosyrev V.N., Nuzhdin V.M., Konoval'tsev A.V., Ananenko A.E. Ultra-low-radar Technology. The status and development trends. 2-ya Vserossiyskaya konferentsiya-seminar "Sverkhshirokopolosnye signaly v radiolokatsii, svyazi i akustike": tr. [Proc. of the 2nd All-Russian Conference-Seminar "Ultrawideband signals in radar, communications and Acoustics"]. Murom, 2006. (in Russian).
 6. Skosyrev V.N., Nuzhdin V.M., Ananenko A.E., Konoval'tsev A.V. Ultrashort pulse radar technology is the key to improving information capabilities of radar station // 1-ya mezhdunarodnaya konferentsiya "Sverkhshirokopolosnye signaly i sverkhkorotkie impul'sy v radiolokatsii, svyazi i akustike" [Proc. of the 1st International Conference on Ultrawideband and Ultrashort impulse signals in radar, communications and acoustics], Suzdal', 27-29 September 2005. Suzdal', 2005. (in Russian).
 7. GOST R 51505-99. Sistema obzora letnogo polya i upravleniya dvizheniem vozdushnykh sudov i transportnykh sredstv po aerodromu. Osnovnye parametry i tekhnicheskie trebovaniya [State Standard of RF 51505-99. Review system of flying field and control of airplanes and transport means movement on airfield. Basic parameters and technical requirements]. Moscow, Standards Publishing House, 2000. (in Russian).
 8. Skosyrev V.N., Slukin G.P., Usachev V.A., Ananenko A.E., Konoval'tsev A.V., Nuzhdin V.M., Sokolov P.V. Multi-purpose Aerodrome Radar by Technology of Super-short-pulse Radiolocation. *Vestnik MGTU im. N.E. Baumana. Ser. Priborostroenie = Herald of the Bauman Moscow State Technical University. Ser. Instrument Engineering*, 2007, no. 4, pp. 120-122. (in Russian).
 9. Skosyrev V.N. The increase of informativity of radar systems with the help of application of various branches of technology of superbroadband radar signals. *Zhurnal radioelektroniki*, 2012, no. 7. Available at: <http://jre.cplire.ru/koi/jul12/9/text.html> , accessed 01.11.2014. (in Russian).
 10. Skosyrev V.N., Osipov M.L. Characteristics and properties of the short-pulse radar. *Vestnik MGTU im. N.E. Baumana. Ser. Priborostroenie = Herald of the Bauman Moscow State Technical University. Ser. Instrument Engineering*, 1999, no. 4, pp. 21-30. (in Russian).
 11. Ananenko A.E., Nuzhdin V.M., Rastorguev V.V., Skosyrev V.N. Features of an estimation of characteristics of detection in radar of small range. *Radiotekhnika = Radioengineering*, 2013, no. 11, pp. 35-38. (in Russian).