

А. В. ДЕМИН, А. В. СОРОКИН, Д. М. ГОРДЕЕВ, М. А. БЕЛЯНСКИЙ, А. С. ПТИЦЫНА,
А. Г. ШАЛКОВСКИЙ, А. Б. ЧУРИКОВ, А. С. СМОЛИН

АВИАЦИОННЫЙ ТЕПЛОПЕЛЕНГАТОР

Приведены результаты работ по созданию авиационного тепlopеленгатора для обнаружения и пеленгации высокоскоростных летательных аппаратов.

Ключевые слова: тепlopеленгатор, летательный аппарат, помехи, инфракрасный диапазон излучения, фотоприемное устройство, объектив.

Тепlopеленгаторы относятся к классу пассивных оптико-электронных систем, позволяющих в инфракрасном диапазоне спектра излучения решать задачи обнаружения, идентификации и пеленгации путем выявления искомого объекта на фоне помех на основе выбранной совокупности критериев.

Одной из основных характеристик тепlopеленгаторов (ТП) является дальность, на которой объект с требуемой вероятностью и достоверностью может быть обнаружен, определяемая параметрами приемника излучения и объектива, а также конструкцией тепlopеленгатора в целом.

В настоящей работе приведены результаты разработки авиационного тепlopеленгатора для обнаружения высокоскоростного летательного аппарата на фоне помех. В процессе полета высокоскоростного летательного аппарата (ЛА) вследствие торможения воздушного потока в пограничном слое и в ударных волнах происходят сложные нестационарные процессы теплообмена с изменением свойств воздуха (диссоциация, ионизация, рекомбинация),

что создает определенные трудности при идентификации ЛА, размеры которого малы по сравнению с окружающим его пространством, являющимся помехой.

Из экспериментальных исследований [1—16] известно, что интегральная сила излучения факелов ЛА для высоты 5—30 км в спектральном диапазоне 3—5 мкм составляет порядка $(1,3—9,5) \cdot 10^4$ Вт/ср. Тем не менее время излучения факела двигателя ЛА меньше чем время его полета, поэтому основным источником теплового излучения для ТП является корпус ЛА.

В соответствии с уравнением термодинамического состояния системы, представленного в цилиндрических координатах, может быть рассчитана температура различных участков ЛА путем интегрирования этого уравнения по времени и поверхности [17]:

$$\left. \begin{aligned} \rho(R, Z) C_p(R, Z, T) \frac{\partial T}{\partial t} &= \frac{1}{R} \frac{\partial}{\partial R} \left[R \xi_{RR}(R, Z, T) \frac{\partial T}{\partial R} \right] + \frac{\partial}{\partial Z} \left[\xi_{ZZ}(R, Z, T) \frac{\partial T}{\partial Z} \right] + \\ &+ \frac{\partial}{\partial Z} \left[\xi_{RZ}(R, Z, T) \frac{\partial T}{\partial R} \right] + \frac{\partial}{\partial R} \left[R \xi_{RZ}(R, Z, T) \frac{\partial T}{\partial Z} \right], \\ T' &\approx T_a \left(1 + r \frac{(\gamma - 1)}{2} M^2 \right), \end{aligned} \right\} \quad (1)$$

где R, Z — цилиндрические координаты поверхности ЛА; ρ — удельная плотность материала ЛА с координатами R, Z ; C_p — удельная теплоемкость материала ЛА с координатами R, Z при температуре T ; $\xi_{RR}, \xi_{RZ}, \xi_{ZR}$ и ξ_{ZZ} — компоненты тензора теплопроводности ЛА с координатами R, Z при температуре T ; t — текущее время; T' — оценка температуры поверхности ЛА; T_a — температура атмосферы; γ — отношение теплоемкости атмосферы при постоянном давлении к ее теплоемкости при постоянном объеме ($\gamma \approx 1,4$); r — коэффициент восстановления температурного баланса, для головной части ЛА $\approx 0,5—0,9$; M — число Маха.

Величина потока излучения от ЛА на приемник излучения ОЭС_{ТП} определяется следующим соотношением [14, 16]:

$$F_{об} = \frac{\tau_{об} S_{об} \varepsilon}{\pi} \frac{S \cos \alpha \cos \varphi}{L^2} \int_{\lambda_1}^{\lambda_2} r(\lambda) P_\lambda \tau_a d\lambda, \quad (2)$$

где $S_{об}$ — площадь входного зрачка объектива ТП; L — расстояние между ТП и ЛА; φ — угол между направлением на ЛА и оптической осью ТП (угол рассогласования); $\tau_{об}$ — коэффициент пропускания объектива ТП; P_λ — спектральная чувствительность приемника излучения с фильтром; τ_a — коэффициент пропускания атмосферы.

Расчеты показывают, что с расстояния 50 км ожидаемый поток от ЛА в спектральном интервале 3—5 мкм составляет порядка $5,5 \cdot 10^{-10}$ Вт/пиксел, а с расстояния в 200 км — $3,5 \cdot 10^{-11}$ Вт/пиксел, в то время как чувствительность современных приемников составляет порядка $3 \cdot 10^{-13}$ Вт/пиксел (MARS MW K508 фирмы “SOFRADIR”), что свидетельствует о возможности создания тепlopеленгаторов дальнего действия.

На рис. 1 приведена укрупненная схема авиационного ТП без вторичных источников питания, пунктир обозначает наличие электроинформационных связей, а сплошные стрелки — наличие механических связей. Ниже приведены основные параметры ТП.

Фокусное расстояние, мм	115
Относительное отверстие	1:2
Угловое поле зрения, ...°	8,5

Рабочий спектральный интервал, мкм 3—5
 Фотоприемное устройство MARS MW K508 ФИРМА “SOFRADIR”
 Чувствительность, Вт/пиксел $\sim 3 \times 10^{-13}$
 Число пикселей матрицы 320×256
 Размер пикселя, мкм 33
 Время накопления сигнала, мс 6,1

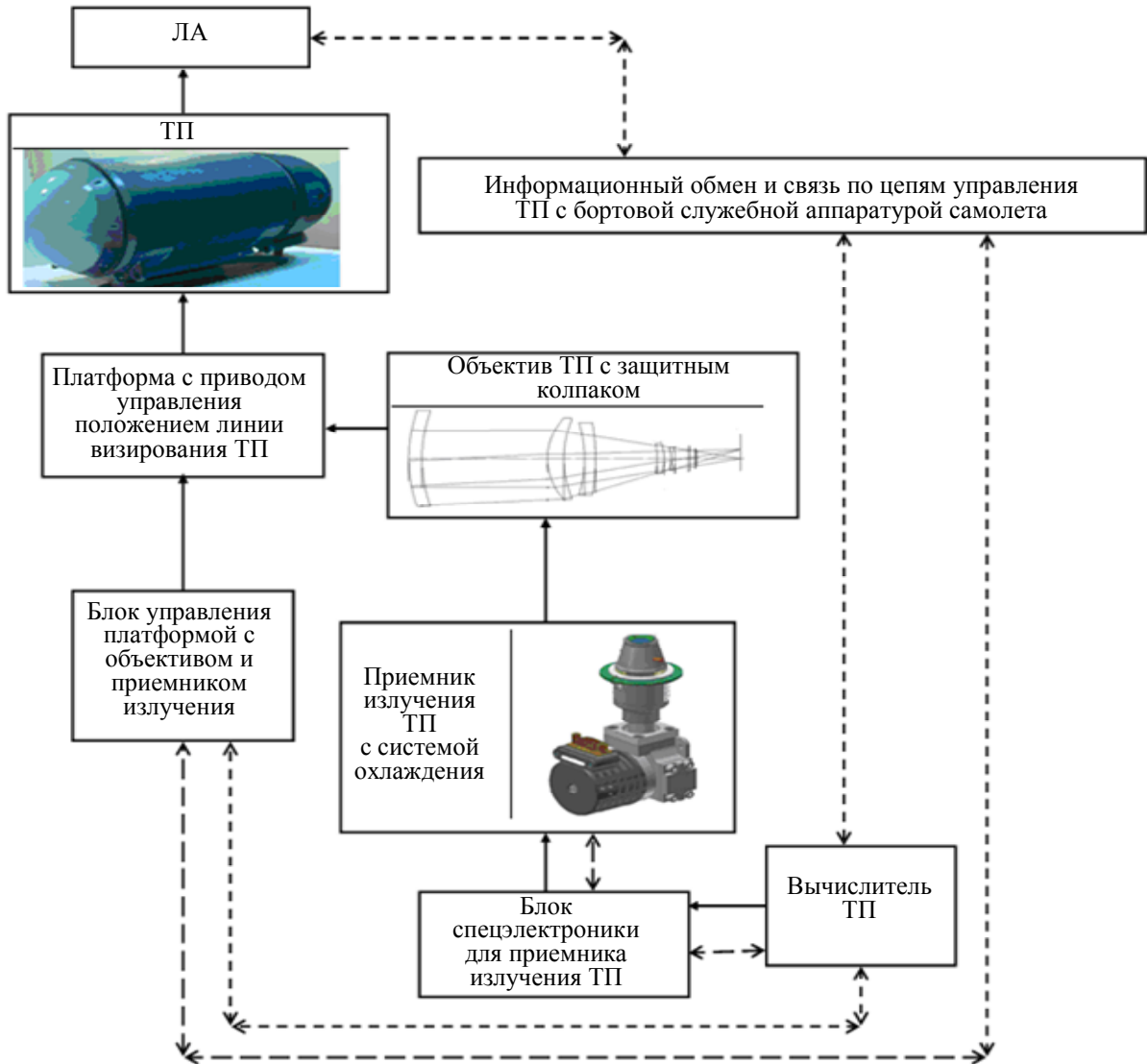


Рис. 1

Были проведены лабораторные стендовые исследования ТП. На рис. 2 приведена схема стенда, а в таблице приведены итоговые результаты лабораторных исследований.

Угловой размер, ...'	Имитируемые параметры ЛА		Мощность ФПУ (расчет), Вт/пиксел	Результат регистрации сигнала ЛА
	Линейный размер диафрагмы, мм	Оценка мощности излучения*, Вт		
10	0,006	$6 \cdot 10^{-8}$	$7 \cdot 10^{-13}$	2 из 11
15	0,009	$1 \cdot 10^{-7}$	$1 \cdot 10^{-12}$	7 из 11
20	0,01	$2 \cdot 10^{-7}$	$2,5 \cdot 10^{-12}$	11 из 11
40	0,02	$1 \cdot 10^{-6}$	$1 \cdot 10^{-11}$	11 из 11
80	0,04	$4 \cdot 10^{-6}$	$5 \cdot 10^{-11}$	11 из 11

* С точностью порядка не более 20 % в диапазоне 3—5 мкм на выходе имитатора.

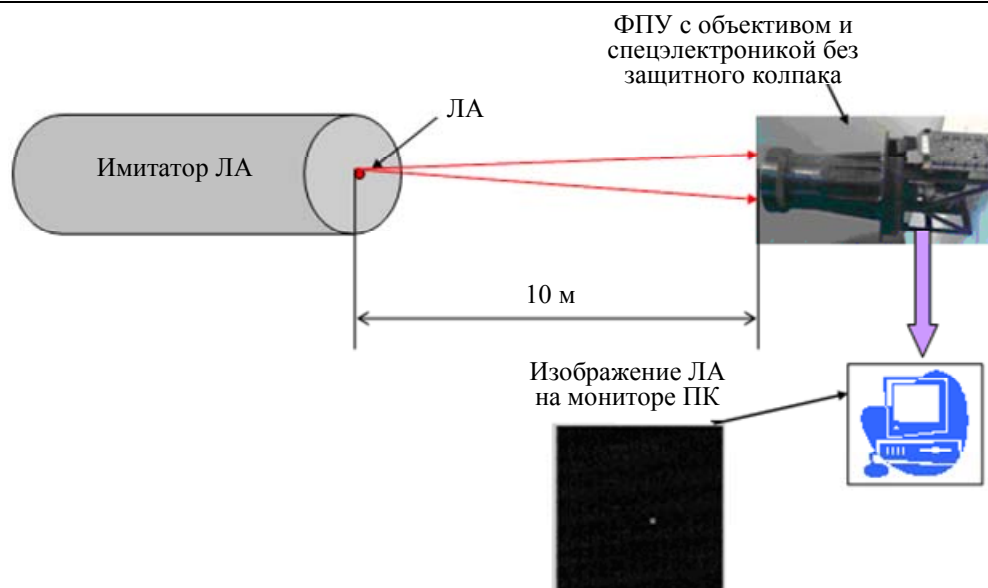


Рис. 2

Был разработан макет ТП; исследования показали возможность создания реальных образов авиационного тепlopеленгатора, способных фиксировать мощность излучения порядка 10^{-12} Вт/пиксел, что соответствует современным требованиям.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Радиационные характеристики атмосферы и земной поверхности / Под ред. К. Я. Кондратьева. Л.: Гидрометеиздат, 1969. 564 с.
2. Das S. R., Sastri V. D. Spectral distribution and color of tropical day light // JOSA. 1965. Vol. 55, N 3. P. 319—322.
3. Кушпиль В. И. Яркость дневного безоблачного неба (экспериментальные данные). Л.: ОНТИ ГОИ, 1971. 164 с.
4. Coulson K. L., Dave J. V., Sekera Z. Tables related to radiation emerging from a planetary atmosphere with Rayleigh scattering. Berkley—Los-Angeles: Univ. California Press, 1960. P. 348—359.
5. Глушко В. Н., Иванов А. И., Лившиц Г. Ш. Рассеяние инфракрасного излучения в безоблачной атмосфере. Алма-Ата: Наука, 1974.
6. Кузнецик О. П. Энергетическая яркость неба в „окнах“ прозрачности атмосферы в области 1,8—5,2 мкм // Рассеяние света в земной атмосфере. Алма-Ата: Наука, 1974.
7. Кузнецик О. П., Афанасьев Г. К., Долинин В. В. Пространственные частоты лучистости ясного неба в области 4,5—5,2 мкм // ДАН БССР. 1973. Т. 17, № 6.
8. Палдма В. К., Тумановская Р. Г. Некоторые статистические характеристики суммарной радиации в облачных условиях // Изв. АН СССР ФАиО. 1971. Т. 7, № 9.
9. Алленов М. И., Шуба Ю. А. Исследование структуры излучения облаков в диапазоне 8—13 мкм с помощью быстродействующего радиометра-пирометра // Изв. АН СССР. ФАиО. 1971. Т. 7, № 9.
10. Кузнецик О. П., Афанасьев Г. К. Автокорреляционные функции и энергетические спектры небосвода в области 1,8—5,2 мкм // Рассеяние света в земной атмосфере. Алма-Ата: Наука, 1972.
11. Linke F., Moller F. Die dunkeln Strahlungsstrome in der Atmosphäre und die Strahlungsbilanz // Handbuch der Geophys. 1943. Bd 8, life 3.
12. Кондратьев К. Я. Лучистый теплообмен в атмосфере. Л.: Гидрометеиздат, 1956. 420 с.
13. Основы теплопередачи в авиационной и ракетной технике / Под ред. В. К. Кошкина. М., 1975. 623 с.
14. Ллойд Дж. Системы тепловидения / Пер. с англ.; под ред. А. И. Горячева. М.: Мир, 1978. 416 с.
15. Хадсон Р. Инфракрасные системы / Пер. с англ.; под ред. Н. В. Васильченко. М.: Мир, 1972. 534 с.

16. Лазарев Л. П. Оптико-электронные приборы наведения летательных аппаратов. М.: Машиностроение, 1984. 480 с.
17. Труды ЦАГИ. Аэродинамическое нагревание при сверхзвуковых скоростях полета. ОНТИ. 1975—2000. 136 с.

Сведения об авторах

- Анатолий Валентинович Демин** — д-р техн. наук, профессор; Санкт-Петербургский государственный университет информационных технологий, механики и оптики, кафедра информатики и прикладной математики; E-mail: dav_60@mail.ru
- Александр Васильевич Сорокин** — „НТЦ «РОКАД»“, Санкт-Петербург; ведущий инженер; E-mail: alex.corokins@mail.ru
- Дмитрий Михайлович Гордеев** — канд. техн. наук; ООО „АвтоВизус“, Санкт-Петербург; генеральный директор; E-mail: gordeev@autovisus.ru
- Максим Анатольевич Белянский** — ОАО „НТЦ Завод Ленинец“, Санкт-Петербург; начальник конструкторского бюро; E-mail: belyansky@onegroup.ru
- Анастасия Сергеевна Птицына** — студентка; Санкт-Петербургский государственный университет информационных технологий, механики и оптики, кафедра компьютеризации и проектирования оптических приборов; E-mail: Anastasia_88.88@mail.ru
- Алексей Геннадьевич Шалковский** — канд. техн. наук; Санкт-Петербургский государственный университет информационных технологий, механики и оптики; проректор по работе с ВПК
- Алексей Борисович Чуриков** — ОАО „НТЦ Завод Ленинец“, Санкт-Петербург; заместитель технического директора; E-mail: churikov@onegroup.ru
- Александр Сергеевич Смолин** — аспирант; Санкт-Петербургский государственный университет информационных технологий, механики и оптики, кафедра оптико-цифровых систем и комплексов; E-mail: as_smolin@mail.ru

Рекомендована кафедрой
оптико-цифровых систем и комплексов

Поступила в редакцию
08.12.10 г.