

УДК 629.735.052.5

И. М. И л ю х и н

АВТОМАТИЧЕСКИЙ ПРИЦЕЛ ДЛЯ ЛЕСОПОЖАРНОЙ АВИАЦИИ

Рассмотрена задача прицельного сбрасывания жидкости на очаг лесного пожара с авиационного носителя. Проведен анализ светотехнической обстановки в районе лесного пожара, а также способа его автоматического обнаружения и определения момента сброса жидкости. Предложен вариант исполнения автоматического прицельного устройства.

Ключевые слова: тушение пожаров, пожарная авиация, обнаружение пожаров, прицельное устройство.

Лесные массивы континентов и поверхность мирового океана являются основными поставщиками кислорода для нашей планеты, выполняя функцию ее легких. Однако вследствие хозяйственной деятельности человека, а также пожаров площадь лесов на Земле ежегодно уменьшается со все возрастающей скоростью даже с учетом целенаправленного их восстановления. Так, если в 900 г. леса составляли 40 % территории суши, то спустя 1000 лет — 30 %, а в 1990 г. уже только 20 %. По данным Института мировых ресурсов, из 7,5 млн км² исчезнувших в течение XX в. лесов 2 млн км² приходится на два последних десятилетия. Поэтому одним из важнейших направлений природоохранного мониторинга является постоянный контроль за состоянием лесных массивов, а также обнаружение лесных пожаров и оперативное их тушение [1].

Малая авиация, используемая до настоящего времени для пожарной охраны лесов, не обеспечивает контроля больших площадей и требует развитой инфраструктуры и значительных затрат при ее эксплуатации. Поэтому оценку состояния лесных массивов России, а также оперативное обнаружение лесных пожаров эффективнее и дешевле осуществлять с помощью специальной оптико-электронной аппаратуры (ОЭА), устанавливаемой на ИСЗ. Наиболее эффективным же способом борьбы с обнаруженными лесными пожарами (особенно на стадии их зарождения) является, как показала мировая практика, авиация. Воздушные носители-танкеры обеспечивают быструю доставку огнетушащей жидкости к очагам возгорания и надежное их тушение [2].

Конструкция авиационных танкеров и тактика тушения очагов возгорания в разных странах различаются, однако сброс пожаротушающей жидкости при этом во всем мире до сих пор проводится в основном

оператором вручную путем нажатия кнопки слива. По имеющейся статистике вероятность точного попадания огнетушащей жидкости на очаг пожара при ее ручном сбросе составляет примерно 30 %, если исключить результативность экипажей экстрас класса, которых в мире единицы. Кроме того, стоимость одного неточного слива составляет от 1 до 5 тыс. американских долларов в зависимости от расходов на аренду самолета, топлива и пожаротушащей жидкости. Правда, материальный и моральный ущерб может быть более значительным, если очаг возгорания лесного массива, возникший около населенного пункта или промышленного сооружения, не будет подавлен с первого захода самолета-танкера.

Невысокую вероятность попадания, резко снижающую эффективность тушения пожаров и увеличивающую эксплуатационные расходы, можно объяснить конструктивными особенностями самолетов-танкеров как российских, так и зарубежных, из-за которых визуальный контакт с очагом пожара прекращается за сотни метров до него. С учетом скорости самолета это составляет несколько секунд его полета, в течение которых оператору необходимо своевременно нажать на кнопку сброса жидкости. Поэтому задача разработки прицельного устройства, устанавливаемого на борту авиационного носителя и обеспечивающего автоматическое обнаружение очага пожара и последующий сброс на него жидкости, является весьма актуальной. Для ее успешного решения необходимо: проанализировать светотехническую обстановку в районе лесного пожара, обосновать способ его автоматического обнаружения и определения момента сброса жидкости, выбрать вариант схмотехнического исполнения прицельного устройства.

Светотехническая обстановка в районе лесного пожара. Такое стихийное явление, как лесной пожар представляет собой мощный источник излучения, точный расчет интенсивности и спектрального состава которого является сложной теоретической задачей. В большинстве случаев лесные пожары в своей начальной стадии носят низовой характер, когда сгорают сухая трава, лесная подстилка из опавших листьев, хвои и сучьев, небольшие деревья и кустарники. Высота пламени в этих случаях достигает 2...3 м при ширине горячей кромки 0,5...1,5 м. Температура пламени колеблется в пределах 900...1500 К на кромке пожара, охватывающей по периметру выгоревшую площадь с температурой 350...400 К. В лесном пожаре можно выделить четыре излучающих компонента, имеющих различный спектральный состав излучения: раскаленную твердую поверхность горящей древесины, угли, пламя и дым. Все они вносят свой вклад в суммарный состав излучения лесного пожара, но вклад каждого компонента различен.

Раскаленная поверхность горящей древесины (1400...1500 К) и угли, имеющие температуру 800...1000 К, — это источники с непрерывным спектром излучения и коэффициентом черноты от 0,6 до 0,8.

Пламя же лесного пожара — весьма сложный источник, имеющий полосовую структуру распределения энергии излучения по длинам волн, которые соответствуют полосам поглощения веществ, содержащихся в пламени. Продукты, выделяемые при сгорании древесины (в основном это водяные пары и углекислый газ), имеют в ИК области спектра несколько характерных полос поглощения с центрами на длинах волн 1,3, 1,9; 2,7; 3,6 и 6,3 мкм для воды и 2,7 и 4,3 мкм для углекислого газа. Интенсивность каждой из этих полос изменяется в зависимости от температуры пламени. Кроме того, внутри пламени имеются несгоревшие частицы, дающие в дополнение к полосовой структуре непрерывную составляющую излучения как в видимой, так и в ИК области спектра. Суммарный состав излучения пламени весьма сложен и непрерывно изменяется во времени, поскольку из-за турбулентности среды в зоне пожара наблюдаются различные его участки. Наконец, последний излучающий компонент — дым (совокупность остывающих мелких частиц, взвешенных в нагретом воздухе) — также является излучателем с непрерывным спектром. Температура дыма составляет примерно 500...600 К, а поэтому его излучение сосредоточено в ИК области спектра. Дым рассеивает и поглощает более коротковолновое излучение пламени, углей и горящей древесины, а поэтому интенсивность и спектральный состав излучения лесного пожара хаотически изменяется во времени. Указанный характер излучения фрагментов лесного пожара подтверждается результатами натурных измерений с помощью ИК-аппаратуры, установленной на ИСЗ [3]. При наблюдении лесного пожара с авиационного носителя сложный полосовой характер его излучения сохраняется, но ширина полос и интенсивность излучения будут больше вследствие малой толщины разделяющего их слоя атмосферы. Кроме того, фрагменты лесного пожара (особенно низового) будут существенно экранироваться кроной деревьев.

Поскольку энергия, излучаемая лесным пожаром в видимой области спектра, в сотни раз меньше его энергии в ИК-диапазоне, то для обнаружения очагов пожара с авиационных носителей необходимо использовать ИК-аппаратуру. На этапе проектирования подобной ОЭА и ее энергетического расчета суммарное излучение фрагментов лесного пожара в первом приближении можно считать серым с температурой и коэффициентом черноты от 700 К и $\varepsilon = 0,6$ (тлеющие угли и пламя начинающегося или затухающего низового пожара) до 1500 К и $\varepsilon = 0,8$ (бушующее пламя с раскаленной древесиной верхового пожара). Начинающиеся пожары могут иметь вид отдельных очагов площадью от 10 до 100 м², которые быстро превращаются в распространяющуюся кромку огня шириной 2...3 м. Коэффициент экранирования фрагментов низового пожара кронами деревьев в зависимости от дальности до него и высоты полета авиационного носителя может принимать значения от 0,9 (малые высоты) до 0,5 (большие высоты полета). Очаги

пожара обычно наблюдаются на окружающем их фоне с температурой 300 К [4].

Обоснование алгоритма работы ИК прицела. Выбор способа автоматического обнаружения очага лесного пожара и момента сброса на него пожаротушащей жидкости должен базироваться на хорошо отработанной теории и технике прицельного бомбометания с горизонтального полета. Однако решение поставленной задачи при наличии бокового ветра и произвольном заходе самолета-танкера на очаг пожара сильно усложняет как процесс прицеливания, так и конструкцию ИК-прицела. Поэтому далее полагаем, что после предварительного визуального обнаружения очага пожара экипаж самолета-танкера успевает выполнить разворот, в результате чего самолет выйдет на очаг точно по направлению или лучше против направления вектора ветра, когда его путевая скорость w будет направлена на очаг и будет совпадать с продольной осью X самолета (рис. 1). Тогда для автоматического обнаружения очага или кромки лесного пожара в некоторой точке O пути самолета можно применить ОЭА пеленгационного класса, которая просматривает на поверхности земли узкую полосу (линию), имеющую угловой размер порядка $20 \dots 30^\circ$ под некоторым постоянным углом φ_{Π} к вертикали (оси Y) перпендикулярно направлению движения самолета — вектору его путевой скорости w . Если горизонтальная дальность l_0 обнаружения очага пожара будет больше продольного отбоя A_w сброшенной в точке B жидкости, то в качестве параметра, определяющего момент ее автоматического сброса, можно использовать, например, временную задержку τ_3 выдачи команды на сброс, которая должна отсчитываться от момента обнаружения очага в точке O . Время задержки на сброс в предположении его мгновенного исполнения при этом рассчитывается как

$$\tau_3 = (l_0 - A_w)/w > 0.$$

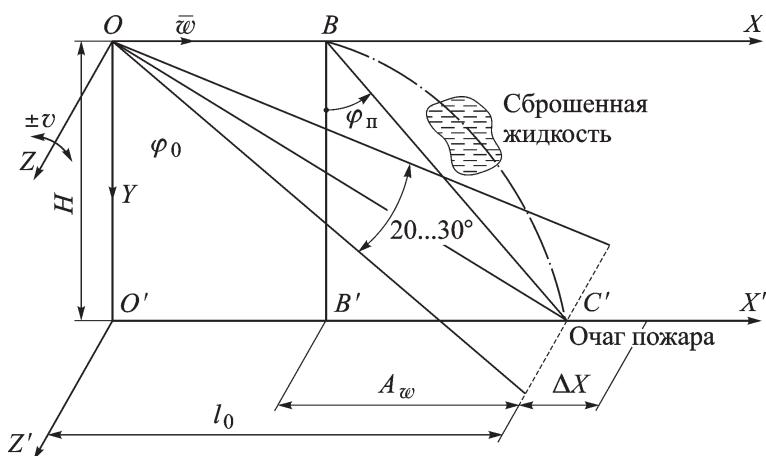


Рис. 1. Прицельная схема при сбросе пожаротушащей жидкости с авиационного носителя-танкера

Здесь путевая скорость самолета определяется как алгебраическая сумма его воздушной скорости V и скорости ветра U , а

$$A_w = A_v \pm UT,$$

где A_v — продольный относительный расход жидкости при отсутствии ветра, а T — время падения жидкости с высоты H полета самолета-танкера. Поскольку при встречном ветре уменьшаются значения A_w и w , то при таком заходе самолета на очаг пожара время задержки τ_3 будет увеличиваться, что облегчает работу экипажа на этапе вывода самолета на боевой курс. Кроме того, для исключения продольной ошибки прицеливания $\pm \Delta X$ из-за случайных колебаний корпуса самолета-танкера вокруг оси Z на углы тангажа $\pm v$, линия визирования OC прицела должна быть стабилизирована в пространстве.

Анализ вариантов схемотехнического исполнения ИК прицела.

Согласно вышеизложенному принципу специалисты НПО “Терма” по заданию Федеральной службы охраны лесов России разработали образец ИК-прицела для автоматического слива жидкости на очаг лесного пожара с борта воздушного танкера [5]. Прицел состоит из оптико-механического сканера, фотоприемной системы, блока электроники и пульта управления. Сканирующее устройство представляет собой восьмигранную зеркальную призму диаметром 60 мм, которая вращается с постоянной скоростью. Фотоприемная система включает в себя двухлинзовый объектив из просветленного кремния (диаметр входного зрачка 15,3 мм, относительное отверстие 0,5) и неохлаждаемый приемник излучения на основе соединения PbSe с максимумом спектральной чувствительности на длине волны 3,3 мкм. Угол обзора (рабочая длина одного скана) был выбран равным 24° , что при наклонной дальности до очага пожара в 140 м (угол наклона φ_0 линии визирования принят равным 78°) обеспечивало просмотр полосы местности, перпендикулярной направлению полета, длиной 69 м и шириной 1 м с геометрическим разрешением 1 м в плоскости на поверхности земли. На пульт управления были выведены индикатор обнаружения (захвата прицелом) очага пожара, рукоятка установки времени задержки начала слива и тумблер включения системы. Угол наклона визирной оси прибора $\varphi_0 = 78^\circ$ выбирался так, чтобы при заданной скорости и высоте полета самолета-танкера оставалось время для срабатывания исполнительных механизмов слива с учетом баллистики сбрасываемой жидкости. Время задержки начала слива определялось для каждого типа воздушного носителя в полигонных условиях (т.е. экспериментально) применительно к конкретным значениям скорости и высоты его полета. Такой прицел при появлении в поле обзора (в пределах строки сканирования) очага пожара вырабатывает электрический сигнал наличия цели, который через предварительно введенное оператором в пульт управления время задержки выдает команду исполнительным

органам на слив жидкости без участия оператора. Полигонные испытания прицела показали, что с его помощью обеспечивалась вероятность накрытия одиночного очага пожара размером $1,5 \times 3$ м порядка 80...100 % в зависимости от направления захода самолета на цель.

Основным недостатком разработанного в НПО “Терма” прицела следует считать то, что время задержки определяется заранее на полигоне применительно к конкретному типу носителя как функция его воздушной скорости и высоты полета, а затем в процесс подлета к очагу пожара вручную вводится в прибор. Кроме того, в ходе проведенных испытаний ИК-прицела, который устанавливался неподвижно относительно корпуса самолета-танкера, были выявлены ряд конструктивных недостатков и низкая помехозащищенность, в первую очередь, от солнечных бликов в виде отраженного от кромок облаков и поверхности водоемов излучения.

Для устранения этих недостатков можно рекомендовать следующий вариант схемотехнического исполнения ИК-прицела, в котором при сохранении выбранного принципа работы вводятся следующие изменения.

Во-первых, оптико-механический сканер заменяется на электронный, реализуемый линейкой приемников излучения, что существенно упрощает конструкцию фотоприемной системы прицела, уменьшает ее габаритные размеры и массу.

Во-вторых, фотоприемная система прибора либо подвешивается к корпусу самолета как маятник, либо устанавливается во внешней рамке гиросtabilизатора. Благодаря этому обеспечивается пространственная стабилизация линии визирования от случайных колебаний носителя по тангажу, исключая возникновение продольных ошибок ΔX сброса жидкости.

В-третьих, процесс сброса пожаротушающей жидкости полностью автоматизируется за счет реализации управляющего алгоритма оперативного расчета времени задержки выдачи команды на слив в функции текущих значений высоты, воздушной и путевой скоростей полета носителя, а также баллистики сбрасываемой жидкости с учетом технических особенностей процесса ее слива и установки прицела на самолете. Оперативный расчет времени задержки может выполняться либо аналоговым решающим устройством, либо специализированным микропроцессором. На вход от соответствующих датчиков непрерывно подаются текущие параметры пилотирования самолета (H, v, w), а вручную — баллистический параметр θ сбрасываемой жидкости и постоянная времени системы ее слива $\tau_{ск}$ в общем случае с учетом линейного параллакса установки прицела на самолете.

Наконец, в-четвертых, требуемая помехозащищенность такого прицела может быть обеспечена введением в его состав вспомогательного приемного канала, чувствительного в спектральной области

2...3 мкм, где преобладает отраженное от источников световых помех солнечное излучение. Поскольку излучение фрагментов лесного пожара сосредоточено главным образом в спектральном диапазоне 3...4 мкм, то при реализации такой рабочей спектральной полосы в основном канале прицела возникает возможность путем совместного анализа реакции вспомогательного и основного каналов достаточно эффективно отличить очаг пожара от помехи. Действительно, как показано в работе [2], в диапазоне спектра 3...4 мкм освещенные солнцем облака и водная гладь имеют по отношению к подстилающей поверхности земли отрицательный энергетический контраст, а в области 2...3 мкм — положительный. Как показали предварительные расчеты, фотоэлектрический отклик основного канала $u_{o,k}$, возникающий в процессе “просмотра” пространства в момент попадания в его мгновенное поле освещенной солнцем кромки облака или водной поверхности, будет более чем в 3 раза меньше, чем отклик на выходе вспомогательного канала $u_{в,k}$ от той же световой помехи. В то же время сигнал от очага лесного пожара на выходе основного канала почти в 2 раза превосходит уровень сигналов во вспомогательном канале. Тогда, введя в электронный тракт прицела некое устройство принятия решения (например, согласно критерию $u_{o,k}/u_{в,k} \geq Z_{пор}$, где $Z_{пор}$ — порог принятия правильного решения- в угловом поле прибора находится очаг пожара), можно существенно повысить помехозащищенность прицела.

Функциональная схема автоматического ИК-прицела, реализующего такой алгоритм работы, представлена на рис. 2. На схеме обозначено: 1 — гиروهод, обеспечивающий пространственную стабилизацию углового поля прицела за счет соответствующего разворота на

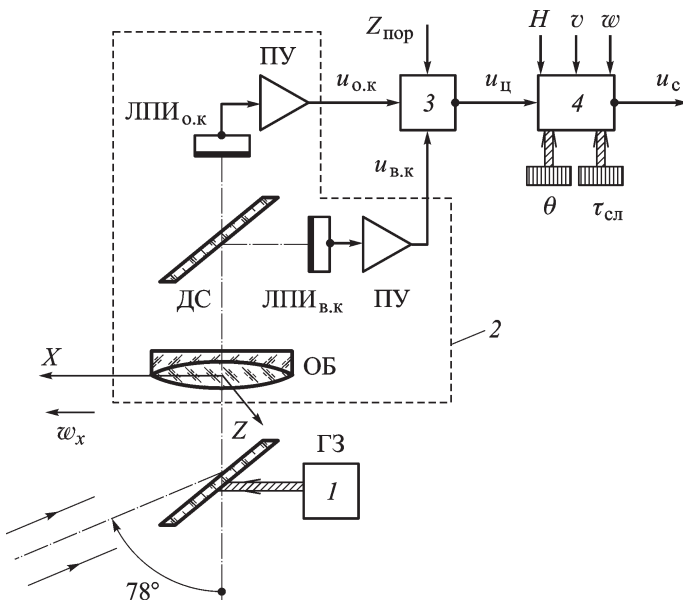


Рис. 2. Функциональная схема автоматического ИК-прицела

угол $\theta/2$ головного зеркала (ГЗ); 2 — фотоприемная система основного и вспомогательного каналов, включающая объектив (ОБ), дихроичный светоделитель (ДС), линейки приемников излучения (ЛПИ) и их предварительные усилители (ПУ); 3 — электронное устройство принятия решения $u_{ц}$ о наличии в угловом поле прибора очага пожара; 4 — вычислитель времени задержки и формирования сигнала сброса $u_{с}$, на вход которого подключены автоматические датчики высоты, воздушной и путевой скоростей полета носителя, а также рукоятки ввода баллистических свойств пожаротушающей жидкости θ и постоянной времени системы ее слива $\tau_{сл}$.

Сложность и стоимость такого ИК-прицела будет несколько выше тех же показателей прибора, разработанного в НПО “Терма”. Однако, насколько можно судить по ежегодной летней прессе об убытках, наносимых России лесными пожарами, затраты на создание такого ИК-прицела быстро окупятся, в первую очередь, благодаря его более высокой точности и полной автоматизации процесса сброса пожаротушающей жидкости на очаг лесного пожара.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Экологические проблемы: что происходит, кто виноват и что делать? Учеб. пособие; Под ред. проф. В.И. Данилова-Данильяна. — М.: Изд-во МНЭПУ, 1997. — 332 с.
2. Мирзоева Л. А. Космическая оптико-электронная аппаратура обнаружения очагов лесных пожаров // Оптический журнал. — 1992. — № 8. — С.17–21.
3. Сафронов Ю. П. Инфракрасная техника и космос. — М.: Сов. радио, 1978. — 248 с.
4. Мелихов И. С. Лесная пирология. — М.: МЛТИ, 1978. — 137 с.
5. Широбокоев А. М., Тобин Б. С. Инфракрасный прицел в лесопожарной авиации. // Оптический журнал. — 1996. — № 11. — С. 71–73.

Статья поступила в редакцию 10.09.2008

Игорь Михайлович Илюхин родился в 1937 г., окончил в 1961 г. МВТУ им. Н.Э. Баумана. Канд. техн. наук, доцент кафедры “Лазерные и оптико-электронные системы” МГТУ им. Н.Э. Баумана. Автор более 50 научных работ в области проектирования и производства оптико-электронных приборов систем управления.

I.M. Ilyukhin (b. 1937) graduated from the Bauman Moscow Higher Technical School in 1961. Ph. D. (Eng.), assoc. professor of “Laser and Optical and Electronic Systems” department of the Bauman Moscow State Technical University. Author of 50 publications in the field of design and manufacturing of optical and electronic devices for control systems.

