

Нікулін О.Ф.;  
Багров О.С.

## ПРИМЕНЕНИЕ БЕСПИЛОТНЫХ ЛЕТАТЕЛЬНЫХ АППАРАТОВ С СИНФАЗНОЙ АНТЕННОЙ РЕШЕТКОЙ ДЛЯ СИСТЕМ МОНИТОРИНГА ПОЖАРОВ

*Запропоновано алгоритм застосування безпілотних літальних апаратів з синфазною антенною решіткою для систем моніторингу пожег*

*Предложен алгоритм применения беспилотных летательных аппаратов с синфазной антенной решеткой для систем мониторинга пожаров*

*An algorithm application of UAVs with the in-phase array antenna systems for fire monitoring*

**Актуальность.** Регулярно возникающие в различных регионах земного шара лесные пожары привлекают к себе внимание как природные бедствия, приносящие серьезный экономический ущерб. Лесные пожары являются не только бедствием для населения, но и важным фактором локальной, региональной и даже глобальной экодинамики, что проявляется, например, в обусловленных пожарами выбросах в атмосферу парниковых газов и аэрозоля.

В 1998г. произошло выгорание бореальных лесов на обширных территориях России и Сев. Америки. Согласно данным официальной статистики, пожары охватили территорию площадью около 4,8 млн. га в бореальных лесах Сев. Америки (Канада и США) и 2,1 млн. га в России (обработка данных спутниковых наблюдений показала, что масштабы пожаров в России могли быть гораздо более значительными при пораженной пожарами территории в пределах 9,5-11,5 млн. га). Сгорание биомассы, происходящее в бореальных лесах летом в условиях сухой погоды, обуславливает выбросы в атмосферу больших количеств химически и оптически активных малых газовых компонентов, оказывающих значительное (и специфическое) влияние на химические процессы и перенос излучения в атмосфере.

Специального внимания заслуживает косвенное воздействие лесных пожаров на почвенное дыхание в высоких широтах, где существуют богатые углеродом почвы в зонах вечной мерзлоты. Обусловленное пожарами потепление почвы должно усилить процессы дыхания и, тем самым, способствовать интенсификации выбросов CO<sub>2</sub> в атмосферу на протяжении интервала времени до 10 лет после пожара [1].

По данным журнала «FORBES» от 29.04.14 лесные пожары в России вошли в 10 самых дорогих стихийных бедствий XXI века.

Лето 2010 года надолго запомнилось жителям России, особенно европейской ее части: жара и засуха спровоцировали страшные лесные пожары. Сгорели леса на площади более 2,3 млн. га, густой едкий смог окутал всю западную часть России. В пожарах погибло более 50 человек, сгорело 2500 домов, было полностью или частично уничтожено более 127 населенных пунктов. Вдобавок в стране был зафиксирован рост смертности на 17,5% в июле-августе 2010 года. Оценки ущерба поначалу сильно разнились. И называли весьма астрономические суммы. Так, директор Центра охраны дикой природы Алексей Зименко заявлял, что ущерб лесному фонду от пожаров составлял не менее \$25 000 на 1 га леса, или минимум \$375 млрд. общего ущерба [2].

Суммарный ущерб, причиненный лесным пожаром, включает стоимость сгоревшей и поврежденной древесины на корню, ущерб от повреждения молодняков естественного и искусственного происхождения, ущерб, причиненный ресурсам побочного пользования, расходы на тушение лесного пожара, ущерб от повреждения и уничтожения объектов в лесу, расходы на расчистку горельников, затраты на проведение дополнительных выборочных и санитарных рубок в насаждениях, пройденных пожаром, ущерб от снижения почвозащитных, санитарно-гигиенических, водоохраных и других средообразующих функций леса, ущерб от загрязнения атмосферы продуктами горения, ущерб от гибели животных и растений, включая занесенных в Красную книгу. Затраты и убытки, которые несут другие отрасли народного хозяйства, в результате действия лесных пожаров (временное прекращение судоходства, полетов авиации, замедление (прекращение) автомобильного и железнодорожного движения, свертывание деятельности изыскательских партий, домов и лагерей отдыха, туристических баз [3].

Для решения задач мониторинга лесных пожаров в настоящее время во всех развитых странах успешно применяются беспилотные летательные аппараты (дроны). Согласно находящимся в открытом доступе документам организаций Европейского Союза, распределение потребительского спроса на гражданские БПЛА в период с 2015 по 2020 гг. выглядит следующим образом:

- 45 % – правительственные структуры,
- 25 % – пожарные,
- 13 % – сельское хозяйство и лесничество,
- 10 % – энергетика,
- 6 % – обзор земной поверхности,
- 1 % – связь и вещание

В мире представлено большое количество гражданских БПЛА классификации «микро» и «мини», различающихся по своим спецификациям и набору характеристик (назначение, вес, размер, продолжительность и высота полета, система запуска и приземления,

наличие систем автопилотирования и навигации, формат фото- и видеосъемки и др.) [4].

*Анализ публикаций по теме.* Важное место в реализации этой концепции занимают научно-технические вопросы, связанные с методами и средствами, позволяющими осуществлять мониторинг земной поверхности (мониторинг пожаров) и оценивать состояние природных и геотехнических систем. Существенным недостатком многих средств наблюдения является зависимость получения требуемой информации от погодных условий, времени года и суток. Возможность получения данной информации в любое время года и суток в сложных метеоусловиях могут обеспечить только радиотехнические средства (системы), работающие в СВЧ К-диапазоне. Лесные экосистемы и, в частности, леса территории Украины играют огромную роль в экономике страны. Оперативный мониторинг пожаров является весьма актуальным.

Главными проблемами являются высокая стоимость полёта, которая составляет в среднем 25 тысяч рублей в час, метеорологические условия, которые препятствуют полёту и время реагирования до 6 часов, (стоимость полета аналогичных БПЛА в Европе и США составляет от 1900 до 3100 дол. США).

Решить проблему мониторинг пожаров можно с использованием ИСЗ, но это могут позволить себе далеко не все развитые страны мира.

В соответствии с действующей Концепцией развития космической системы дистанционного зондирования Земли (ДЗЗ) в России на период до 2025 г. запланировано создание и ввод в эксплуатацию ряда космических аппаратов (КА), оснащенных бортовыми радиолокационными комплексами (БРЛК) низкого и высокого разрешения, в целях решения задач гидрометеорологического, природно-ресурсного и картографического назначения.

Реализация основных мероприятий по созданию систем ДЗЗ осуществляется в рамках Федеральной космической программы России. Ожидается, что к 2020 г. орбитальная группировка ДЗЗ будет состоять из 33 спутников, 10 из которых будут оснащены БРЛК с АФАР, еще один КА – «Метеор-М» № 3, который создается на новой платформе с БРЛК на основе активной фазированной антенной решетки (АФАР) X-диапазона частот для мониторинга пожаров [6].

В настоящее время для мониторинга пожаров применяются разнообразные технические системы, которые используются на:

- мобильных или стационарных вышках;
- аэростатных комплексах;
- БПЛА;
- самолетах (вертолетах);
- искусственных спутниках Земли.

В зоне наземной охраны лесов наряду с наземным патрулированием для обнаружения лесных пожаров можно используются передвижные телескопические мачты высотой 35 м на базе автомобиля «ЗИЛ-131» и стационарные. Они оснащаются телеустановками «Балтика-3М» и позволяют вести наблюдение за лесом в радиусе до 20 км. Такие наблюдательные пункты развёртываются на возвышенностях в засушливые периоды пожароопасного сезона и оснащаются средствами связи и спутниковой навигации. Место пожара определяется методом засечек с 2-3 соседних мачт (вышек), с помощью лазерных дальномеров или с помощью СВЧ радиометров и более простые системы (подсчёт строк развёртки на мониторе телеустановки) для определения расстояния до дымового шлейфа.

Система раннего оповещения о возникновении пожаров предназначена для раннего обнаружения очагов возгорания природного и техногенного характера и обеспечивает:

- комплексный мониторинг;
- передачу информации на сервер ЦУКС МЧС области в реальном времени;
- отображение информации о состоянии контролируемых территорий;
- визуализацию зон наблюдения и процесса контроля;
- отображение направлений распространения опасных факторов пожара и продуктов горения;
- информирование соответствующих служб для планирования первоочередных мер по раннему обнаружению и ликвидации очага возгорания или пожара;
- сбор и хранение информации о состоянии технических средств и аппаратуры систем мониторинга раннего обнаружения пожара [10].

Применение аэростатных комплексов для мобильного мониторинга пожаров рассмотрим на примере комплекса "Вега-02".

Комплекс "Вега-02" является составной частью комплексной многоуровневой автоматизированной системы мониторинга и предназначен для полного цикла мониторинга заданных районов земной и морской поверхностей в любое время суток в интересах нефтегазовых, энергетических и природоохранительных ведомств, а так же силовых структур. Комплекс обеспечивает поиск объектов и передачу данных на наземный пункт управления в реальном масштабе времени и обеспечивает решение следующих задач:

- обнаружения и локализации пожаров (в том числе лесных);
- измерения уровней радиации и определения местоположения источников повышенной радиации;
- ретрансляции сигналов связи и управления;
- радио- и радиотехнического мониторинга и др. задач.

У авиационного способа обнаружения лесных пожаров возможности гораздо выше, но в силу ряда экономических и организационных причин по сравнению с 70—80 годами прошлого столетия стоимость лётного часа воздушных судов авиалесоохраны возросла более чем в 3 раза, а уровень лесоавиационных работ снизился примерно в 5 раз. Это приводит к невыполнению научно обоснованных нормативов по кратности авиапатрулирования и более того, на площади, превышающей 50 % охраняемой авиацией лесной территории, установлено эпизодическое патрулирование. Пример фиксирования места лесного пожара (рис.1)



Рис.1

Главный принцип, заложенный в организации авиапожарной службы «Авиалесоохраны» – это предотвращение развития возникающих мелких пожаров в крупные, путём их оперативного обнаружения и подавления (ликвидации). Это достигается патрулированием лесов воздушными судами (ВС) с наличием сил пожаротушения на борту. Режим патрульных полётов, который обеспечивает высокую оперативность обнаружения пожаров на минимальной площади, регламентирован «Инструкцией по авиационной охране лесов». Документ основан на множестве научных изысканий, опыте практических полетов и совершенствовался многие десятилетия. Соблюдение регламента патрульных полетов позволяет добиться почти 99 процентного обнаружения возгораний на площадях не более 1–5 га. Поэтому своевременное авиационное патрулирование лесов и есть ключ к эффективности работы Авиалесоохраны. Это ключ к эффективности охраны лесов от пожаров.[11]

В условиях недостатка средств на авипатрулирование воздушными судами возрастает роль новых экономичных летательных аппаратов и космических средств.

Для мониторинга лесных пожаров возможно применение пилотируемых мотопланеров и мотодельтапланов, использующих в режиме планирования энергию воздушных потоков, автожиров, парашютов и привязных аэростатов с гиростабилизированной платформой. Особо следует отметить дистанционно пилотируемые летательные аппараты (ДПЛА), оснащённые телекамерой, ИК-аппаратурой и системой спутниковой навигации (GPS). В последние годы появились беспилотные аппараты классов менее 200 кг со стартом с транспортно-пусковой установки (мини), и менее 5 кг со стартом с руки (микро). Однако современные ДПЛА имеют ряд существенных недостатков: сравнительно небольшой угол захвата регистрирующей аппаратуры ДПЛА и радиус полёта не превышающий

100 км для класса «мини»), что не позволяет осматривать большую площадь; нет технологии автоматического (без участия человека) обнаружения лесных пожаров; для ДПЛА микрокласса слишком велика зависимость его полёта от ветра и турбулентных конвекционных потоков лесного пожара; сравнительно высокая аварийность и низкий ресурс ДПЛА: необходимо согласовывать полёты с органами управления воздушным движением. Практически отсутствует нормативно-правовая база для применения беспилотной техники.

Перспективным представляется достаточно новый тип БПЛА-многоосный вертолёт или «мультикоптер».

Основным производителем являются компании Mikrokopter (Германия) и DraganFly (США). Конструктивно это микровертолёты с различным количеством несущих винтов от 4 до 16, расположенных симметрично. Вес вертолётов от 0,5 до 10 кг. Такая конструкция обеспечивает простоту управления, устойчивость полёта, исключительную маневренность, низкую аварийность. Внешний вид мультикоптера (рис.2)



Рис.2

Оператор получает возможность осматривать различные высокие объекты, сооружения, здания, в том числе с полетом внутри комнат, коридоров. Недостатки - малая дальность и время полета, упрощенная целевая нагрузка. [12]. Пример определения очага возгорания с помощью мультикоптера показано на (рис.3)



Рис.3

Оперативный мониторинг сразу большой территории лесов стал возможен только с помощью искусственных спутников Земли (ИСЗ) или

космовизуального наблюдения. Региональные управления лесного хозяйства и территориальные базы авиационной охраны лесов впервые начали применять спутниковую информацию в своей практической деятельности с середины 70-х годов, когда ЛенНИИЛХ (ныне СПбНИИЛХ) разработал практические рекомендации по её использованию для решения целого ряда задач производственного характера. По чернобелым мелкомасштабным изображениям, ежедневно получаемым с метеорологического спутника земли «Метеор», можно было следить за сходом снежного покрова и более обоснованно устанавливать сроки начала авиалесоохранных работ, определять скопления грозовой облачности, являющейся основной причиной массовых загораний в лесу, выявлять поля ресурсной облачности, перспективной для тушения крупных лесных пожаров искусственно вызываемыми осадками из облаков, отслеживать передвижение теплых и холодных фронтов, следить за динамикой развития и распространения крупных лесных пожаров (100 га и более) и т.д. Однако оперативной эту систему мониторинга назвать было нельзя из-за сравнительно большого временного интервала между проходами спутника над точкой приёма (один раз в сутки), длительной (4-5 ч.) многоступенчатой обработки получаемых изображений через «негатив-позитив» и, наконец, низкой разрешающей способности самих снимков. Поэтому лесной пожар можно было обнаружить на космическом снимке только по его дымовому шлейфу в видимом или ближнем ИК-диапазоне спектра.

В последние годы оперативность использования спутниковой информации и разрешающая способность аппаратуры дистанционного зондирования Земли резко возросли. Стало возможным получать снимки больших территорий с довольно высоким разрешением. Значительно увеличилось число действующих космических аппаратов, появились относительно недорогие станции приёма данных со спутников, существенно возросли возможности программных и аппаратных средств обработки и передачи космической информации. В настоящее время космический мониторинг лесов является самым доступным и востребованным методом контроля за распространением крупных лесных пожаров. Для информационной поддержки принятия управленческих решений широкое распространение получили геоинформационные системы (ГИС), в которых спутниковая информация привязана к географическим координатам и является регулярно обновляемым источником данных, необходимых для изменений и дополнений информационных слоёв карт. Данные такого рода необходимы многим потребителям этой информации (органам власти и местного самоуправления, территориальным органам, агентствам лесного хозяйства, научным и природоохранным организациям). Данные космического мониторинга лесных пожаров делятся на



оперативные, получаемые со спутника TERRA с прибором MODIS, и уточнённые данные более высокого пространственного разрешения, получаемые со спутников системы SPOT с широкоугольной камерой Vegetation (VGT), предназначенной для наблюдения растительного покрова. Погрешность оперативных данных сильно зависит от характера горения, состояния атмосферы и других факторов. Необходимо отметить, что информация о лесных пожарах, формируемая федеральной системой космического мониторинга, не является достаточно оперативной, так как выдаётся один раз в сутки. Пример получения информации о пожарах в заданном регионе с помощью ИСЗ (рис.4)

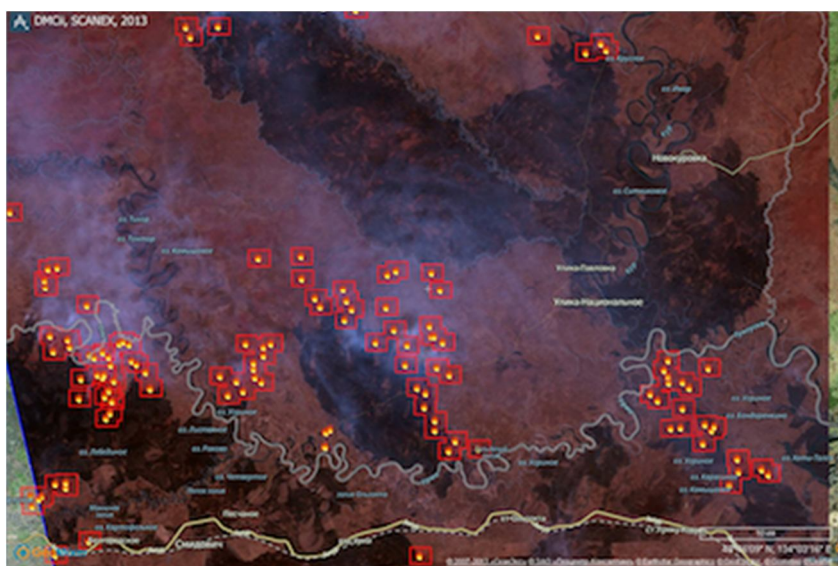


Рис.4

Поэтому весьма важно взаимодействие различных ведомств, обладающих своими мониторинговыми сетями. Прежде всего, это касается сети космического мониторинга МЧС России. Согласно последнему отчету специалистов Лесной службы США, в связи с изменением климата к 2050 г. число пожаров увеличится вдвое, что означает рост необходимости обеспечения раннего обнаружения возгораний и своевременного развертывания наземных средств пожаротушения. В идеале, спутники по обнаружению пожаров лучше всего выводить на такие орбиты, которые позволяют вести наблюдения с земли во второй половине дня, когда большинство пожаров начинает только возгораться, а не ранним утром или в полдень, как это происходит в случае с обычными спутниками, работающими по программам наблюдения Земли из космоса, для которых требуется максимальное дневное освещение для выполнения съемки.

Американское подразделение компании Surrey (создателя группировки спутников DMC) в настоящий момент изучает возможность эффективного применения спутников с инфракрасными датчиками на борту в помощь сложившейся серьезной пожарной ситуации в США и

стремится определить конфигурацию работающих платформ, которые можно быстро развернуть для решения поставленных задач.[13]

*Цель публикаций.* Основная цель публикаций заключается в том, чтобы показать актуальность задач в системе мониторинга пожаров, кратко, в рамках данной работы рассмотреть один из вариантов решения данной задачи.

Учитывая достоинства и недостатки вышеперечисленных методов мониторинга пожаров, предлагается к рассмотрению БПЛА на стабилизированной платформе, с синфазной антенной решеткой. Мониторинг земной поверхности в радиусе действия приемной антенны осуществляется в СВЧ диапазоне в реальном масштабе времени.

Как показывают исследования, интенсивность излучения лесных пожаров максимальна в СВЧ К-диапазоне 8-15 мм (37,5-20 ГГц) [6,7]. Что дает возможность определять пожар (очаги возгорания), даже при отсутствии дымового шлейфа без использования видео контроля, в любых погодных условиях и времени суток.[5]

Принцип работы данной системы заключается в определении интенсивности излучения в соответствии с азимутом ДН вращающейся приемной антенной системы. Мощность теплового излучения в СВЧ-диапазоне принято выражать в яркостных температурах  $T_j$  (мощность на входе приемника связана с яркостной температурой известной формулой Найквиста). В свою очередь, яркостная температура исследуемого участка земной поверхности связана с его термодинамической температурой соотношением:

$$T_j = kT \quad (1)$$

где  $T$  – абсолютная термодинамическая температура участка земной поверхности, измеряемая в градусах Кельвина и выражаемая через температуру в градусах Цельсия  $t$  соотношением:

$$T = t + 273,15 \quad (2)$$

В (1) входит величина  $k$ , которая называется коэффициентом излучения. Коэффициент излучения земных покровов варьирует в диапазоне 0,6-0,97, а для лесных массивов – в диапазоне 0,93-0,98. При этом приращение яркостной температуры очага пожара над уровнем излучения окружающего леса на длине волны 0,8 см составляет до 300°К.

ЭМВ (электромагнитные волны) СВЧ-диапазона хорошо проникают через облачный покров и растительность, что дает преимущество СВЧ-радиометрии, по сравнению с инфракрасной съемкой. Однако недостатком

СВЧ-радиометрии является низкое пространственное разрешение по углу места и азимуту.

*Основная часть.* Анализируя вышеперечисленные методы мониторинга пожаров, достоинства и недостатки технических способов решения, стоимость данных решений, предлагается следующее техническое решение. Для увеличения разрешения по азимуту применяется антенная система с синфазной антенной решеткой, а для решения проблемы с углом места достаточно использовать пеленг с 2-3 БПЛА. Структурная схема с одним БПЛА комплекса приведена на (рис.5)

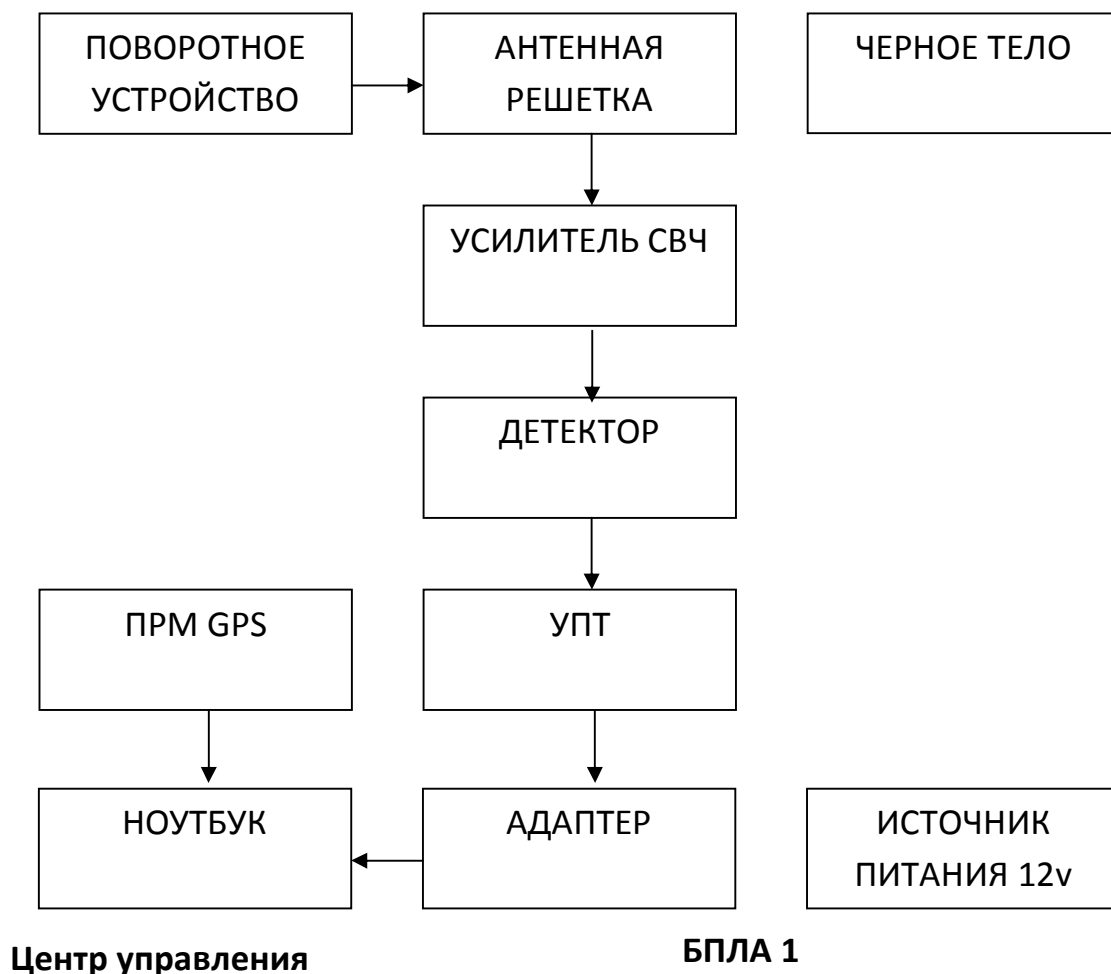


Рис. 5

Антенная система вращается с помощью поворотного устройства, расположенного на БПЛА и обеспечивает обзор земной поверхности в радиусе действия. Радиус действия комплекса определяется параметрами антенны и чувствительностью приемного устройства. Принимаемый СВЧ сигнал с антенны усиливается усилителем СВЧ, детектируется, усиливается по постоянному току и через адаптер, (передача сигнала осуществляется либо по радиоканалу, либо по кабелю) подается на

ноутбук ЦУ (центр управления) через порт USB. При каждом обороте антенны на 360 градусов, принимаемый сигнал маркируется «черным телом» для создания точки радиотеплового отсчета и создания графика яркостной температуры исследуемого региона в течение суток (создание первичного радиояркостного образа) (рис.6), эта информация заносится в память ПК.

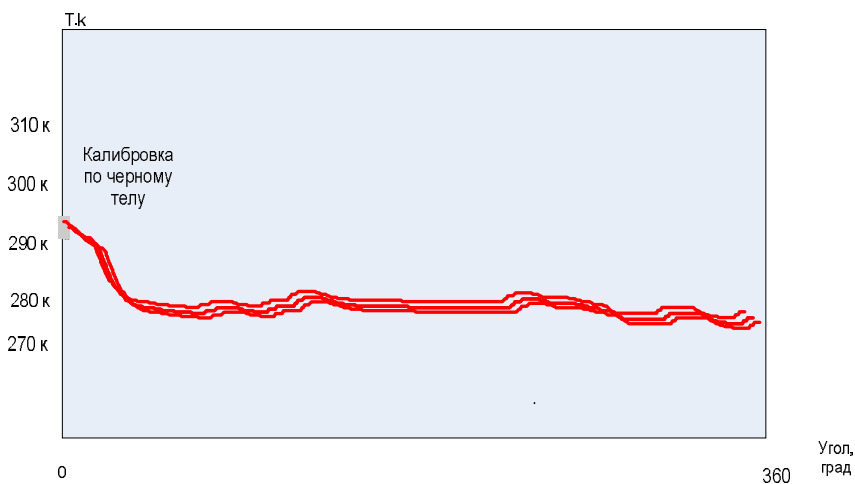


Рис.6

Пример. (Рис.7).

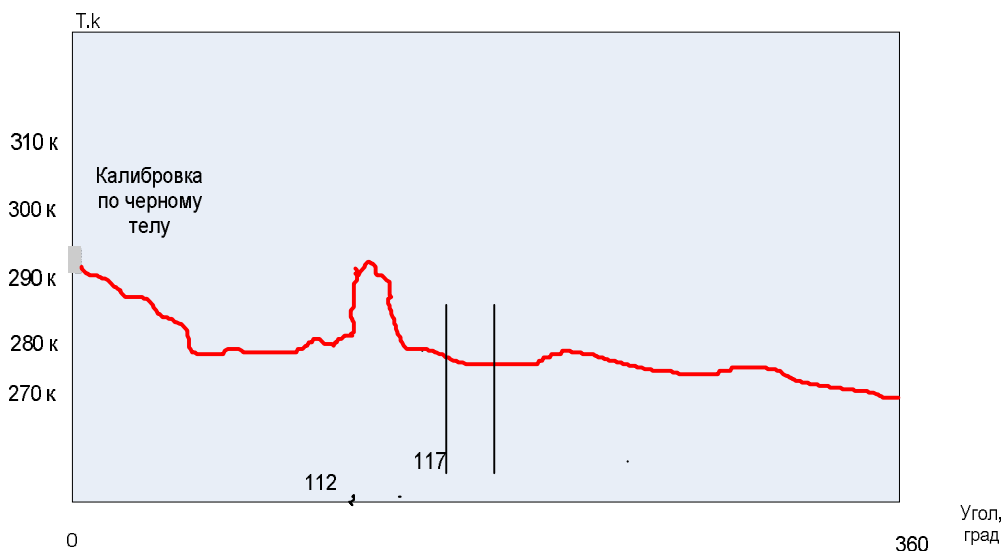


Рис.7

В случае возникновения пожара, в радиусе действия, на экране монитора появится всплеск уровня сигнала, (например в секторе 112-117 градусов), происходит сравнение образов сигналов радиояркостных

температур за несколько циклов, чтобы избежать срабатывания от случайных ошибок, и подается сигнал тревоги.

Для определения координат очага возгорания используется метод пеленгации объекта с двух и более точек, в нашем примере два БПЛА, (рис.8)

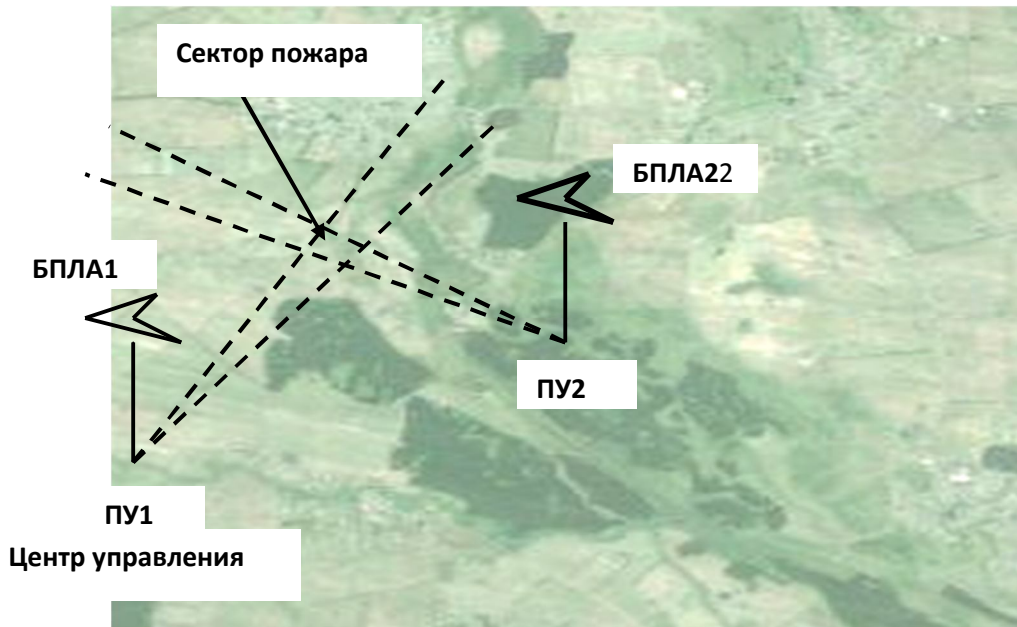


Рис.8

На мониторе ПК отображается карта контролируемого района, пункты управления БПЛА (ПУ1, ПУ2) с привязкой по GPS. В случае возникновения пожара в контролируемой зоне, на ЦУ поступают сигналы с ПУ1 и ПУ2, где они обрабатываются и на экране монитора, в реальном масштабе времени отображается информация о месте возникновения пожара.

*Выводы.* Данный метод мониторинга пожаров позволяет оперативно организовать систему пожарной защиты одного или нескольких объектов, находящихся в радиусе действия комплекса.

Достоинства данного метода:

- невысокая стоимость оборудования комплекса;
- возможность мониторинга в реальном масштабе времени;
- достаточно высокая точность определения координат места пожара, которая определяется сеткой GPS (до 15м);
- всепогодные условия работы;
- работа не зависит от времени суток;
- высокая проникающая способность данного радиодиапазона;
- мобильность;
- высокий уровень безопасности (пассивный режим работы)
- возможность работы без оператора.

К недостаткам можно отнести то, что данный комплекс имеет ограниченную дальность действия (10-15км), поэтому его целесообразно применять для защиты стратегических объектов экономики и хозяйственной деятельности, а также лесных массивов, особенно в пожароопасный период.

*Направление дальнейших исследований.*

- обоснование и расчет рабочего диапазона волн;
- расчет параметров синфазной антенной решетки с учетом чувствительности системы и собственным уровнем шумов;
- конструирование антенны и проведение исследований ее параметров;
- разработка программного обеспечения для работы комплекса;
- конструирование БПЛА с учетом поставленных задач;
- проведение контрольных испытаний.

*Используемые источники информации:*

1. Центр экологической безопасности РАН, г. С.-Петербург; СПб Университет, географический ф-т 2004 г., 1-3 с.
2. Forbes 2014. <http://m.forbes.ru/article.php?id=239642>
3. Инструкция по определению ущерба причиняемого лесными пожарами [http://www.biodiversity.ru/publications/books/lawzap/r9\\_8.html](http://www.biodiversity.ru/publications/books/lawzap/r9_8.html)
4. Википедия, БПЛА гражданского назначения <http://ru.wikipedia.org/>
5. СВЧ радиометрическая модель очага возгорания лесного пожара, В.П. Саворский, В.И. Каевицер, И.Н. Кибардина, С.М. Маклаков, О.Ю. Панова, А.А. Чухланцев. Институт радиотехники и электроники им. Котельникова РАН, Фрязинский филиал, 143с.
6. О применении СВЧ-радиометрии к исследованию лесных пожаров, Бородин Л.Ф., Кирдяшев К.П., Стаканкин Ю.П., Чухланцев А.А. Радиотехника и электроника. Т. 21. № 9. 1976. С. 1945-1950
7. Обработка и интерпретация данных дистанционного зондирования Земли. Национальный исследовательский Томский политехнический университет. О.С. Токарева. 2010. с.14-26
8. Коровин Г.Н., Исаев А.С. Охрана лесов от пожаров как важнейший элемент национальной безопасности России // Лесной бюллетень, № 8-9, 1998. <http://old.forest.ru/rus/bulletin/08-09/8.html>
9. Информационная система дистанционного мониторинга лесных пожаров Федерального агентства лесного хозяйства РФ (состояние и перспективы развития) Барталев С.А., Ершов Д.В., Коровин Г.Н. и др. Современные проблемы дистанционного зондирования Земли из космоса. 2008. Т. 2. № 5. с.419-429.  
С.В. Никольский, Е.И. Николаев, А.А. Чухланцев, А.А. Халдин, В.Ю. Светличный, В.В. Леушин, С.И. Воронов
10. (НПО "Инженерные системы", ФИРЭ им. В.А. Котельникова РАН,

ФГУП СКБ ИРЭ РАН, МФ САО РАН, ЮФУ, ИБРАЭ РАН  
«КОМПЛЕКС ДЛЯ ОБНАРУЖЕНИЯ С ВЫШЕК ОЧАГОВ  
ВОЗГОРАНИЯ ЛЕСНЫХ МАССИВОВ С РАДИОАКТИВНЫМ  
ЗАРАЖЕНИЕМ».с 1-3.

11. Применение авиации на тушении лесных пожаров. Н. А. Коршунов, к. с-х. н., П. М. Матвеев, д.с-х. н., профессор.  
[http://kovdoravia.narod.ru/Ovcinka\\_stoit\\_videlki.html](http://kovdoravia.narod.ru/Ovcinka_stoit_videlki.html)
12. Научная библиотека КиберЛенинка:  
<http://cyberleninka.ru/article/n/sovremennye-metody-obnaruzheniya-i-monitoringa-lesnyh-pozharov#ixzz30Hhot575>
13. U.S. WILDFIRES HIGHLIGHT NEED FOR A LOW-COST FIRE DETECTION AND MONITORING CONSTELLATION  
(<http://www.sst-us.com/u-s-wildfires-highlight-need>)