

Перспективы исследования тонкой структуры пограничного слоя атмосферы с помощью специализированной аппаратуры, установленной на борту беспилотного летательного аппарата

А.Г.Горелик*, Н.М.Ситников*, Д.В.Акмулин*, И.И.Чекулаев*, О.В.Страшко**, И.Е.Кузнецов**

* ФГБУ «Центральная аэрологическая обсерватория» 141700, Московская обл., г. Долгопрудный, ул. Первомайская, 3,

**Военно-воздушная академия им. Н.Е. Жуковского и Ю.А. Гагарина, 394064, г. Воронеж, ул. Старых Большевиков, 54 «А».
e-mail: sitnikovnm@mail.ru

Обсуждаются вопросы развития методов получения детальной и оперативной метеорологической информации. Эта информация необходима для решения многих задач, в частности, для калибровки и контроля параметров дистанционных средств зондирования атмосферы, а также для повышения качества метеорологического обеспечения при эксплуатации беспилотных летательных аппаратов (БПЛА). Отмечено, что легкие и сверхлегкие БПЛА требуют более детального и оперативного метеорологического обеспечения, чем пилотируемые летательные аппараты. Рассматриваются вопросы, связанные с использованием самих БПЛА для решения различных задач, связанных с атмосферными исследованиями, в том числе, для определения термодинамического состояния пограничного слоя атмосферы. На базе БПЛА могут быть созданы простые в использовании, сравнительно недорогие средства для измерения пространственных распределений параметров атмосферы и ее газового и аэрозольного состава. Создание таких средств позволит проводить широкий круг экспериментальных исследований, связанных с разработкой дистанционных средств зондирования атмосферы. Рассматриваются способы получения метеорологической информации с применением беспилотных авиационных систем, позволяющие существенно повысить качество и пространственно-временную дискретность получаемых метеоданных. Приведены результаты экспериментальных исследований, направленных на создание методов и средств метеорологических наблюдений на базе беспилотных летательных аппаратов, способы получения метеорологической информации с использованием БПЛА, а также результаты измерений пространственных распределений метеорологических параметров атмосферы с борта БПЛА. Небольшие габариты и малый вес обеспечат высокую мобильность таких средств.

Состояние метеорологического обеспечения, необходимого для выполнения различных задач, как гражданского, так и военного характера, не вполне соответствует современным требованиям. В первую очередь это касается широкого использования беспилотных летательных аппаратов (БПЛА) различных типов и назначений. Эффективность применения БПЛА, наряду с их сравнительно невысокой стоимостью, делает их важнейшим элементом современных технологий и определяет все более широкое их использование. Задачи картографии, разведки, мониторинга окружающей среды, борьбы с лесными пожарами и стихийными бедствиями, преодоления последствий чрезвычайных ситуаций уже не обходятся без применения БПЛА. Беспилотные летательные аппараты различных типов от тяжелых, весом в несколько тонн до легких и сверхлегких, грузоподъемностью от нескольких сот граммов до нескольких килограммов требуют различного подхода метеорологического обеспечения. Наиболее жесткие требования предъявляются к метеообеспечению малогабаритных БПЛА, особенно при полетах на малых высотах. В этом случае на их работоспособность могут оказать воздействие градиенты ветра сравнительно небольшого масштаба и атмосферная турбулентность, пульсации ветра на разных высотах в пограничном слое атмосферы. Для эксплуатации БПЛА необходима метеорологическая информация, гораздо более детальная и оперативная, чем для эксплуатации пилотируемых летательных аппаратов. Такую информацию практически невозможно получить с помощью традиционных

средств зондирования атмосферы, например радиозондов, шаров-пилотов или дистанционных средств зондирования атмосферы. Достоверные данные о термодинамическом состоянии атмосферы необходимы также для калибровки и контроля параметров самих дистанционных средств зондирования атмосферы.

Эту информацию могут обеспечить легкие мобильные средства зондирования атмосферы на базе малогабаритных беспилотных летательных аппаратов, оснащенных специализированной аппаратурой. Интерес к таким разработкам наблюдается в разных странах [1-5]. Сами беспилотные летательные аппараты могут служить основой при создании современных средств метеорологического обеспечения. Использование контактных датчиков для измерения основных метеорологических параметров позволяет обеспечить высокую точность при определении состояния пограничного слоя атмосферы. Высота подъема БПЛА может достигать нескольких километров. Возможность осуществлять полет с малыми скоростями (для БПЛА мультироторного типа вплоть до зависания на месте) обеспечивает высокое пространственное разрешение, недоступное для традиционных методов зондирования атмосферы. Сравнительно невысокая стоимость, развитие и совершенствование систем управления и автопилотирования открывает широкие возможности для создания на базе БПЛА высокоэффективных средств зондирования атмосферы. Использование на борту БПЛА различных датчиков и приборов, позволяет реализовать в одном аппаратно-программном комплексе измерение не только основных метеорологических параметров атмосферы, но и решать такие задачи, как определение границ облачности, измерение пространственных распределений концентрации загрязняющих примесей и многие другие.

Результаты исследований

В ФГБУ «ЦАО» в течение ряда последних лет проводятся работы по разработке методов и средств мониторинга атмосферы на базе беспилотных летательных аппаратов. [5-13]. Для измерения пространственных распределений параметров атмосферы в ФГБУ «ЦАО» были разработаны образцы метеорологических зондов на базе БПЛА как самолетного, так и мультироторного типов. БПЛА самолетного типа имеют большой ресурс полета и, как правило, большую грузоподъемность при аналогичных весогабаритных характеристиках. Существующие доступные системы автопилотирования, осуществляющие взлет летательного аппарата и его полет по заданному маршруту не позволяют совершить посадку БПЛА самолетного типа в автоматическом режиме. Как правило, приземление таких летательных аппаратов происходит с помощью парашюта, что создает некоторые неудобства для их использования. Для БПЛА с вертикальным взлетом и посадкой имеется возможность полностью автоматизировать процесс проведения измерений. Взлет, подъем, полет по требуемому маршруту и посадка летательного аппарата может быть осуществлена по заранее заданной программе. Для повторного использования необходима только подзарядка или замена аккумуляторной батареи. Такие системы должны найти применение для создания средств измерения вертикальных распределений параметров атмосферы, а также для метеорологического и экологического обеспечения потенциально опасных объектов.

Для проведения экспериментальных исследований, направленных на создание средств зондирования атмосферы на базе БПЛА были использованы летательные аппараты как самолетного, так и мультироторного типа. Современная элементная база позволяет создавать разнообразную малогабаритную аппаратуру, включающую измерительные датчики, системы сбора, обработки и хранения данных, так, что вес бортового оборудования для измерения основных метеорологических параметров атмосферы для БПЛА не превышал 200 г, и ее можно было использовать на борту сверхлегких летательных аппаратов. Вес БПЛА самолетного типа, использованного для создания метеорологического зонда, около 3 кг. Продолжительность полета составляла около 1

часа, высота полета – более 3000 м. Летательный аппарат имел систему автопилотирования, позволяющую летать по заранее заданной траектории. Бортовая система измерения метеопараметров выполнена на базе следующих датчиков: датчик температуры – термистор 30 кОм размером 0,2 мм, датчик давления – МРХ 4115 (Motorola) датчик влажности – ННН-4000 (Honeywell). Уменьшение влияния скорости движения летательного аппарата на процесс измерений было достигнуто за счет использования воздушного насоса, создающего постоянный поток воздуха через датчики температуры и влажности. Грузоподъемность летательного аппарата составляла 1 кг, так что при необходимости на его борту могут быть установлена дополнительная измерительная аппаратура, в частности, малогабаритные приборы для измерения газового и аэрозольного состава атмосферы. Некоторое неудобство использования данного метеозонда является необходимость обладать некоторым опытом пилотирования БПЛА для осуществления посадки после проведения измерений.

Преимуществом метеозондов на базе беспилотных летательных аппаратов вертолетного типа является возможность автоматизировать процесс измерений пространственных распределений параметров атмосферы. Современные системы автопилотирования позволяют обеспечить полеты летательного аппарата по заранее заданной программе, включая взлет и посадку.

Авторами разработан действующий макет метеорологического зонда на базе БПЛА мультироторного типа (квадрокоптера). Вес метеорологического зонда - около 1 кг, вес полезной нагрузки – 200 г. Полный комплект оборудования, включая наземную станцию, не превышает нескольких килограммов. Высота подъема – до 1500 м и выше. Время измерения вертикальных распределений метеопараметров – 10 – 15 мин. Метеорологический зонд запускается с земли, дальнейший полет и приземление происходят в автоматическом режиме. Данные записываются в бортовую систему сбора информации, они могут также передаваться в реальном времени на наземную станцию. При необходимости на борт БЛА может быть установлена аппаратура для измерения газового и аэрозольного состава атмосферы. Система автопилотирования летательного аппарата позволяет планировать маршрут полета. В состав бортовой системы автопилотирования входят GPS модуль, гироскоп и компас, показания которых могут быть записываются на карту памяти и передаваться на наземную станцию. Управление аппарата заключалось только в подаче команды на взлет, дальнейший полет, а также возвращение аппарата в точку вылета и его приземление происходили в автоматическом режиме без участия оператора. Программа, по которой происходил полет, состояла в подъеме аппарата вертикально вверх на заданную высоту с заданной скоростью подъема, спуск с заданной скоростью и приземление в точку вылета. На борту летательного аппарата была установлена измерительная аппаратура, содержащая датчики температуры, давления и влажности. Для уменьшения влияния пропеллеров на процесс измерений датчики были установлены в центре летательного аппарата. Так же, как и в случае метеорологического зонда на базе БПЛА самолетного типа, для повышения точности измерений была предусмотрена принудительная прокачка воздуха через датчики с помощью микронасоса, создающего постоянный поток воздуха 0,5 л/мин. Скорость и направление ветра может быть измерено разными способами. В данном случае скорость и направление ветра определялись путем измерения дифференциальных давлений за пределами зоны, возмущенной работой пропеллеров.

В результате проведенных исследований показана возможность создания автоматизированного метеорологического зонда на базе беспилотного летательного аппарата вертолетного типа. Разработан макетный образец метеорологического зонда, проведены его лабораторные и полевые испытания. Измерены вертикальные распределения метеорологических параметров до высоты 1500 м. Имеется возможность увеличения высоты подъема до 3-5 км при некотором увеличении веса летательного аппарата. Особенностью метеозонда является то, что для его использования не требуется

опыта пилотирования беспилотных летательных аппаратов, измерения метеопараметров производятся автоматически. Небольшие габариты и вес обеспечивают его мобильность и возможность использования в любом месте. В частности, данный аппарат с установленной на борту аппаратурой для измерения концентрации загрязняющих примесей, может быть использован для метеорологического и экологического мониторинга потенциально опасных объектов, таких как атомные электростанции, химические заводы и т.д.

На рисунках 1-2 приведены некоторые результаты измерений вертикальных распределений параметров атмосферы, полученных с помощью образцов метеорологических зондов на базе БПЛА самолетного и мультироторного типа.

Заключение

Актуальность развития данной тематики связана, прежде всего, с необходимостью дальнейшего развития методов и технологий гидрометеорологического и экологического мониторинга окружающей среды. Необходимость выполнения ряда задач военного и гражданского характера требует более детального подхода к метеорологическому обеспечению. Подробная информация о пространственных распределениях параметров атмосферы требуется для обеспечения безопасности полетов авиации и беспилотных авиационных систем, для контроля экологически опасных объектов, для мониторинга окружающей среды в районах техногенных катастроф и чрезвычайных ситуаций. Оперативная, достоверная и подробная информация о состоянии атмосферы необходима для эффективной работы различных служб и организаций. Такую информацию можно получить путем измерения пространственных распределений метеорологических параметров атмосферы, таких как температура, давление, влажность, скорость и направление ветра, концентраций загрязняющих примесей, распределение облачности, определение условий, приводящих к обледенению летательных аппаратов различного назначения. Данные, получаемые с помощью существующих наземных средств измерений и дистанционных методов, не дают полной картины о термодинамическом состоянии атмосферы. Наиболее уязвимым местом является недостаток информации о вертикальных распределениях параметров атмосферы. Для получения таких данных используются шары-зонды или громоздкая и дорогостоящая техника, использующая дистанционные методы измерений, не обладающие высокой точностью (микроволновые профиломеры, содары, метеорологические радиолокаторы и т.д.). В связи с этим особую актуальность приобретает развитие новых инновационных методов метеорологического обеспечения. Это также связано с необходимостью проведения измерений в районах, не охваченных гидрометеорологическими наблюдениями. Одним из путей развития методов и средств метеорологического обеспечения является создание мобильных малогабаритных автоматизированных аппаратно-программных комплексов для метеорологического и экологического мониторинга атмосферы на базе БПЛА.

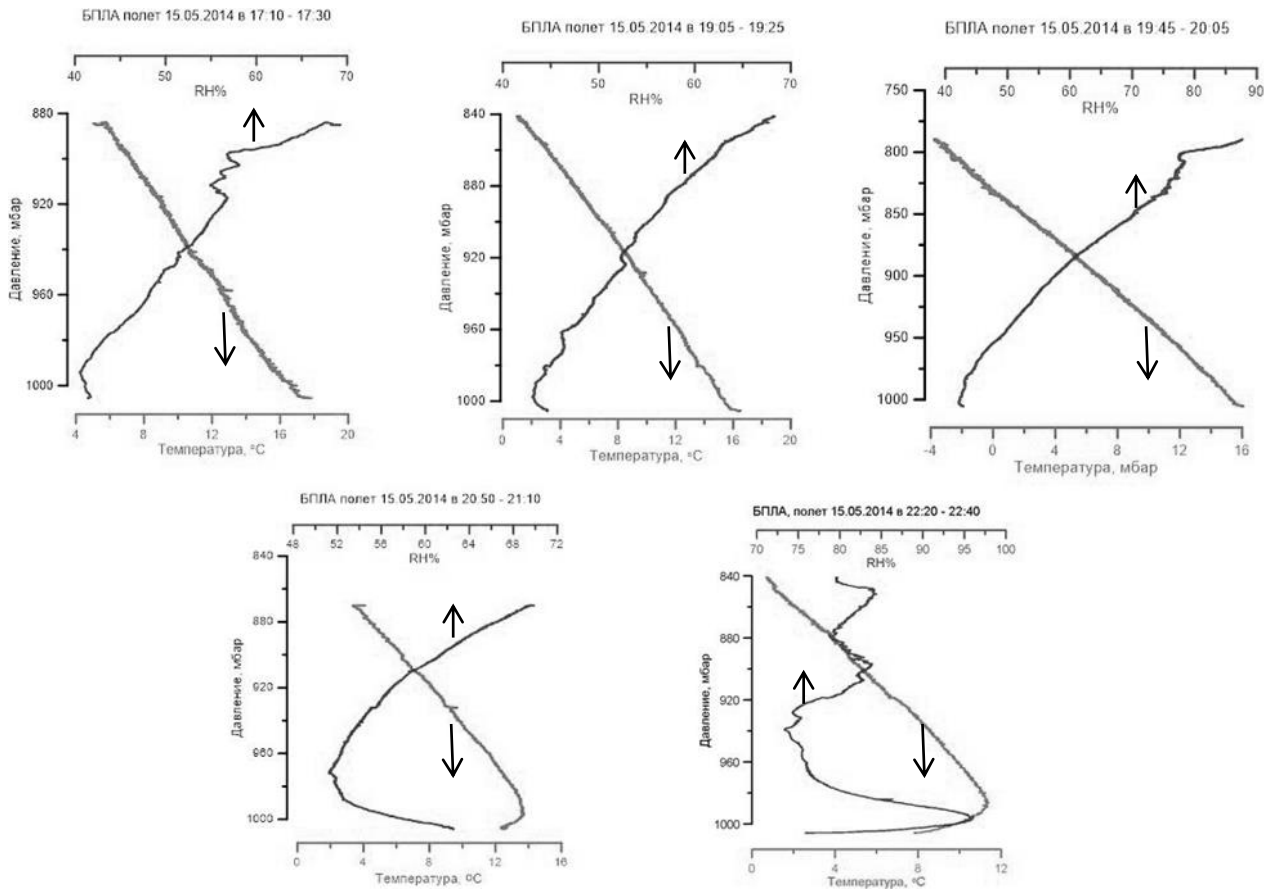


Рис.1. Результаты последовательных измерений вертикальных распределений влажности и температуры, выполненные с борта БЛА самолетного типа с интервалом 1 час.

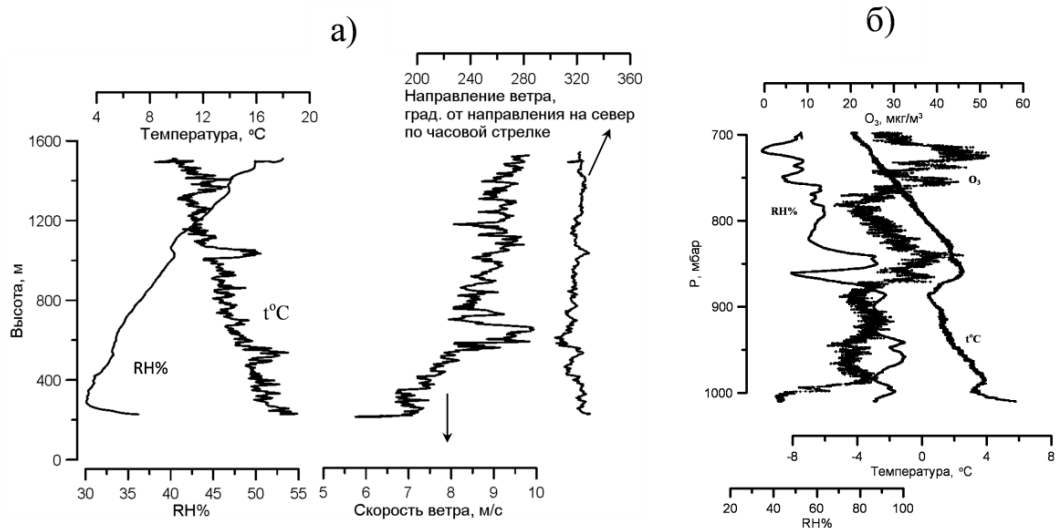


Рис. 2. Результаты измерений вертикальных распределений температуры, влажности, скорости и направления ветра, выполненных с борта БПЛА мультироторного типа (а) и температуры, влажности и концентрации озона, выполненные до высоты 3000 м с борта БПЛА самолетного типа (б).