

ОТЗЫВ

дополнительного члена диссертационного совета ДС.ТПУ.13 д.т.н.

Беспалько Анатолия Алексеевича

на диссертационную работу Куракова Сергея Анатольевича

"Автономные измерительные комплексы для контроля природной среды на труднодоступных территориях», представленную на соискание учёной степени кандидата технических наук по специальности 05.11.13 – Приборы и методы контроля природной среды, веществ, материалов и изделий

Актуальность темы диссертации обуславливается необходимостью разработки автоматического, автономного оборудования и методов неразрушающего непрерывного и долговременного контроля природной среды (атмосферы и подстилающей поверхности, включая водную) на труднодоступных территориях, обеспечивающих дистанционную передачу измеренных данных пользователям. Контроль за состоянием окружающей среды требует создания и развития распределённой информационно-измерительной сети мониторинга метеорологических и климатогенных параметров состояния окружающей среды на основе системы автономных интеллектуальных многоканальных регистраторов, покрывающих территорию страны с необходимым пространственным разрешением. Требуется новые инструментальные средства для обеспечения контроля метеорологической и экологической ситуации в режиме мониторинга и реализация технологий мезомасштабного и краткосрочного прогнозирования состояния атмосферного пограничного слоя (АПС) и подстилающей поверхности.

Текущее развитие технологий и элементной базы даёт возможность создать более эффективное и финансоводоступное оборудование для контроля окружающей среды. Таким образом, разработка новых автономных комплексов, систем и датчиков контроля природной среды для труднодоступных территорий является достаточно **актуальной задачей**. Автономные комплексы и системы регистрации и передачи информации, работающие без обслуживания человеком в течении нескольких лет, как заявлено в теме диссертационной работы Куракова С.А., являются важными и **актуальными, как с практической, так и с научной** точки зрения.

Целью диссертационной работы являлось создание на основе современных технологий автономного атмосферно-почвенного измерительного комплекса (АПИК) и автономных датчиков для контроля изменений ряда стандартных (температура воздуха, скорость и направление

ветра, атмосферное давление и влажность воздуха) и дополнительных (высота снежного покрова, профиль температуры в грунтах, почве, снежных и ледовых покровах, поток солнечной радиации, уровень воды в водоемах и др.) метеорологических величин, предназначенных для контроля природной среды на труднодоступных территориях.

Структура и содержание диссертационной работы

Диссертация состоит из введения, четырех глав, заключения, списка литературы из 118 наименований и 4-х приложений. Общий объем работы состоит из введения, четырех глав, заключения, списка литературы из 118 наименований и 4-х приложений.

Во введении обоснована актуальность темы, представлены цель и основные задачи проводимых исследований, показаны научная новизна, практическая значимость и личный вклад автора. Приведены результаты апробации работы и публикации соискателя по ее теме, сформулированы основные положения, выносимые на защиту.

В первой главе приведен обзор технических средств для контроля основных метеовеличин в приземной атмосфере и дополнительных метеовеличин в атмосфере, грунтах, ледовых и снежных покровах, а также в водной среде. Рассмотрено состояние работ по бортовым автоматическим метеостанциям (АМС) для контроля пространственного распределения полей метеовеличин в атмосферном пограничном слое (АПС). На основании проведенного анализа сформулирована основная цель диссертационной работы и решаемые в ней задачи.

Во второй главе представлены результаты разработки соискателем серии датчиков и зондов, предназначенных для контроля высоты снежного покрова, вертикального профиля температуры снега, температурных профилей грунтов, регистрации процесса таяния ледников и динамики температур, оперативного контроля изменений уровня воды, а также солнечной радиации. Разработаны также одноразовые датчики контроля высоты снежного покрова, применяемые для оценки лавинной опасности, автоматический регистратор таяния ледников. Разработан ряд температурных зондов, предназначенных для непрерывного контроля профиля температуры в почве и грунтах. Рассмотрены вопросы метрологического обеспечения разработанных температурных датчиков. Представлены разработанные датчики для контроля уровня воды в водоемах и контроля потока проходящей и отраженной солнечной радиации. Разработанные конструкции датчиков защищены пятью патентами РФ. По результатам разработок сформулированы 1-е и 2-е защищаемые положения.

Третья глава посвящена принципам построения на базе БПЛА портативной электронной метеостанции, способной регистрировать пространственное распределение полей: температуры и влажности воздуха, атмосферного давления, скорости и направления ветра на различных высотах в АПС. Контроль изменений первых трёх величин реализован с помощью разработанной портативной электронной метеостанции (ПЭМС), а параметры ветра контролируются при использовании аэродинамических свойств БПЛА и его навигационного оборудования. Представленные в 3-й главе технические решения защищены четырьмя патентами. По результатам разработок этой главы сформулировано 3-е защищаемое положение.

В четвертой главе представлены созданные модификации АПИК и результаты их применения. На основании рассмотренных в 1-3 главах методов и разработанных соискателем технических средств для измерения основных и дополнительных гидрометеорологических величин в АПС, грунтах, почвах, снежных и ледовых покровах была предложена и реализована оригинальная схема АПИК. Разработанный алгоритм работы контроллера-регистратора АПИК обеспечивает с заданным периодом опрос цифровых и аналоговых датчиков, сохранение полученных данных в энергонезависимой памяти (логгере) с привязкой ко времени измерения с помощью встроенного таймера. Связь для конфигурирования работы и считывания данных на внешний сервер происходит через GSM-модем, Wi-Fi модуль, спутниковый интернет или напрямую через интерфейс USB. На основании этих разработок сформулировано 4-е защищаемое положение.

В приложениях представлены акты-справки о внедрении результатов диссертационной работы, акты и протоколы испытаний разработанных устройств, а также проект руководства по эксплуатации ПЭМС-БПЛА.

Соответствие диссертации паспорту специальности

По тематике, объектам и области исследования, выдвинутыми автором новыми научными положениями, а также научной и практической значимости, диссертационная работа Куракова С.А. соответствует научной специальности 05.11.13 – Приборы и методы контроля природной среды, веществ, материалов и изделий, согласно следующим пунктам паспорта:

п.2. Разработка и оптимизация методов расчета и проектирования элементов, средств, приборов и систем аналитического и неразрушающего контроля с учетом особенностей объектов контроля.

п.3. Разработка, внедрение и испытания приборов, средств и систем контроля природной среды, веществ, материалов и изделий, имеющих лучшие характеристики по сравнению с прототипами.

Методы исследования

В рамках выполнения диссертационного исследования использовался комплексный подход, включающий в себя анализ научных и технических источников, охватывающих область исследования; анализ и параметризацию требований к новому оборудованию и цифровой обработке и передаче информации. Проведена метрологическая калибровка созданных датчиков, разработка электронных блоков АПИК и программных алгоритмов. Также проведены лабораторные и натурные испытания созданных технических средств с целью подтверждения достигнутых технических характеристик.

Научная новизна и основные результаты работы

Новизна результатов диссертационной работы Куракова С.А. заключается в следующем:

а) предложены, научно обоснованы и реализованы новые технические решения по конструкции датчика высоты снежного покрова и регистратора таяния ледников, основанные на определении температурного градиента на границе снега или льда и воздуха (защищены двумя патентами РФ);

б) предложена и обоснована новая конструкция зонда для контроля изменений вертикального профиля температуры среды, обеспечивающая уменьшение теплопередачи через соединительный кабель, передающий информацию на контроллер-регистратор (защищена патентом РФ);

в) предложена новая конструкция устройства контроля изменений высоты снежного покрова в горах для оценки лавинной опасности (защищена патентом РФ);

г) впервые предложены и обоснованы способы измерения усредненных значений скорости и направления ветра, основанные на использовании аэродинамических характеристик БПЛА мультикоптерного типа и его навигационного оборудования при зависании в определенной точке пространства (защищены 4 патентами РФ);

д) разработана концепция базового АПИК для измерения стандартных и ряда дополнительных метеорологических величин, который включает измерительные датчики, автономные контроллеры-регистраторы, радиомодули передачи информации, сервер и базу данных и разработанное к ним программное обеспечение, позволяющие осуществить долговременный комплексный мониторинг состояния природной среды в удаленных и труднодоступных болотных, лесных, степных и горных ландшафтах без участия операторов-метеорологов.

Соискателем сформулированы следующие **основные результаты работы**:

1. Предложен датчик для контроля высоты снежного покрова,

основанный на анализе вертикального профиля температуры в воздухе и снежном покрове. Созданный датчик в количестве более 50 шт. установлен на ряде наблюдательных постов и метеостанций в качестве средства контроля.

2. Разработана и изготовлена конструкция одноразового датчика контроля высоты снежного покрова, применяемого для оценки лавинной опасности. Предложена методика использования такого датчика для оценки снегозапаса и степени лавинной опасности на горных склонах.

3. Разработана и обоснована конструкция автоматического регистратора таяния ледников Куракова на основе термокосы, в которой датчики температуры расположены на равном расстоянии друг от друга и которые последовательно соединены между собой гибким кабелем. Конструкция дает возможность определения положения верхней границы ледяного покрова, обеспечивает установку термокосы вертикально с упором в дно скважины, снижение механических нагрузок на измерительный элемент (термокосу) за счет ее автоматического складывания.

4. Создан комплект термозондов различного конструктивного исполнения, предназначенных для непрерывного контроля вертикального профиля температуры в почве и грунтах до глубины 500 см с различным пространственным разрешением (минимальное разрешение 5 мм). Обосновано техническое решение по выводу информации из термозонда и передаче ее в контроллер для уменьшения теплопередачи по соединительному кабелю.

5. Разработан и изготовлен датчик уровня воды, который обеспечивает оперативный контроль изменений уровня в широком диапазоне высот, характерном для развития паводков и половодий.

6. Разработан и изготовлен экспериментальный образец блока контроля потока приходящей и отраженной солнечной радиации, который имеет два измерительных модуля, ориентированных на 180° относительно друг друга. Измерительный модуль имеет два зачернённых и два блестящих алюминиевых сектора, температура которых измеряется четырьмя терморезисторами.

7. Теоретически и экспериментально показана возможность определения усредненных значений скорости и направления ветра на заданной высоте путем отслеживания траектории БПЛА коптерного типа под действием ветра с использованием аэродинамических свойств БПЛА и навигационного оборудования, входящего в его состав. Теоретически обоснован способ определения усредненного вектора скорости ветра по наклону вектора тяги БПЛА.

8. Разработан и изготовлен экспериментальный образец портативной электронной метеостанции ПЭМС-БПЛА, измеряющей вертикальные профили температуры, давления и относительной влажности атмосферного воздуха, размещаемой на мультикоптере с передачей измерительной информации по радиоканалу в on-line режиме. Проведены испытания экспериментального образца в климатической камере, которые показали, что он обеспечивает измерение: температуры воздуха в диапазоне от минус 50 до +55 °С, с погрешностью $\pm 0,3$ °С; атмосферного давления в диапазоне от 500 до 1000 гПа, с погрешностью $\pm 0,5$ гПа; относительной влажности воздуха в диапазоне от 5 до 100 %, с погрешностью 2,5 %. Проведены натурные испытания экспериментального образца ПЭМС-БПЛА по измерению вертикальных профилей этих метеорологических величин до высоты 2 км.

9. Разработана концепция и структурная схема базового атмосферно-измерительного комплекса АПИК, включающего датчики для контроля изменения стандартных метеорологических величин: температуры, влажности, атмосферного давления, скорости и направления ветра. При этом использована оригинальная конструкция совмещенного датчика температуры и влажности воздуха. АПИК дополнен авторскими датчиками для контроля изменения дополнительных величин: высоты снежного покрова, солнечной радиации, профиля температуры грунта, уровня воды, а также покупными датчиками: количества и интенсивности осадков, влажности грунта и проводимости почвы.

10. Разработанный алгоритм работы контроллера-регистратора АПИК обеспечивает с заданным периодом опрос цифровых и аналоговых измерительных датчиков, сохранение полученных данных в энергонезависимой памяти (логгере) с привязкой ко времени измерения с помощью встроенного таймера. Связь для конфигурирования работы и считывания данных на внешний сервер происходит через GSM-модем, Wi-Fi модуль, спутниковый интернет или напрямую через интерфейс USB. Для экономии энергии контроллер почти всё время находится в спящем режиме. Для последующего использования метеорологической информации, занесенной в базу данных сервера, разработано клиентское приложение с соответствующим протоколом обмена данных.

Практическое значение работы заключается в том, что предложенные соискателем технические решения позволили создать более 300 устройств, комплексов и систем контроля параметров природной среды. Это оборудование работает во многих регионах России, в том числе более 70 АПИК измеряют и передают информацию по каналам сотовой и спутниковой связи, что подтверждает широкую **реализацию результатов**

диссертационной работы. В целом результаты диссертационной работы реализованы в 10 различных НИР и ОКР, выполненных в ИМКЭС СО РАН. В приложениях к диссертационной работе представлено 7 справок о внедрении результатов работы Куракова С.А. в различных организациях и учреждениях России.

Степень обоснованности научных положений и обоснованности полученных результатов. Научные положения, выносимые на защиту, сформулированы с учетом результатов экспериментальных и теоретических исследований и обеспечены необходимыми ссылками на известные литературные источники и данные, а также математическими выкладками, поэтому являются вполне обоснованными. Полученные характеристики разработанных датчиков подтверждены протоколами испытаний.

Достоверность полученных результатов обеспечена применением контрольно-испытательного оборудования для калибровки созданных технических средств и сравнительными испытаниями, проведенными на территории Сибири и Дальнего Востока с использованием аттестованной аппаратуры. В приложении к диссертации представлены утвержденный Акт и протоколы лабораторных испытаний двух экспериментальных образцов портативной автоматической электронной метеостанции ПЭМС-БПЛА.

Личный вклад соискателя в выполненных исследованиях отражен лаконично и не допускает неоднозначной трактовки.

Полнота изложения материалов диссертационной работы **достаточно высока.** По теме диссертационной работы **опубликовано 75** научных работ, в том числе 1 глава в коллективной монографии, 10 статей в журналах из списка ВАК (1 без соавторов), 2 статьи, входящих в международную базу данных (Scopus), 10 патентов на изобретения (4 без соавторов) и более 50 тезисов и материалов докладов в сборниках трудов международных и всероссийских научно-технических конференций.

Содержание автореферата **соответствует** основным положениям диссертации.

Следует отметить, что рецензируемая работа имеет **следующие недостатки:**

1. Третье защищаемое положение слишком громоздкое.
2. Отдельные рисунки автореферата плохо читаемы (рисунок 10 б, 11 б).

Отмеченные недостатки не влияют на основные результаты, полученные в диссертационной работе, и не изменяют ее общую положительную оценку.

Заключение. Выполненные соискателем исследования и их результаты демонстрируют решение актуальной задачи, имеющей практическое

значение. Содержание автореферата отражает содержание, основные результаты и выводы диссертационной работы.

Считаю, что по объему и качеству изложенного материала, научной новизне и практической значимости диссертационная работа Куракова Сергея Анатольевича **соответствует требованиям** пп. 8-10 Порядка присуждения ученых степеней в Национальном исследовательском Томском политехническом университете (Приказ № 93/од от 06.12.2018), предъявляемым к кандидатским диссертациям.

Методы исследования и полученные автором результаты свидетельствуют о высокой квалификации соискателя. Считаю, что Кураков Сергей Анатольевич **заслуживает** присуждения ученой степени кандидата технических наук по специальности 05.11.13 – Приборы и методы контроля природной среды, веществ, материалов и изделий.

Дополнительный член диссертационного совета ДС.ТПУ.13, доктор технических наук, ведущий научный сотрудник Проблемной научно-исследовательской лаборатории электроники, диэлектриков и полупроводников Исследовательской школы физики высокоэнергетических процессов, ФГАОУ ВО «Национальный исследовательский Томский политехнический университет»

Даю согласие на обработку
персональных данных.

Подпись Беспалько А.А. заверяю:
Ученый секретарь Учёного совета ТПУ
Сведения:

Полное наименование организации:

Федеральное государственное автономное образовательное учреждение высшего образования «Национальный исследовательский Томский политехнический университет».

Юридический адрес: г. Томск, проспект Ленина, дом 30.

Телефон: +7 (3822) 606-304. **Эл. адрес:** besko48@tpu.ru



Беспалько
Анатолий
Алексеевич
03.11.2020

О.А. Ананьева