

## ОТЗЫВ

дополнительного члена диссертационного совета ДС.ТПУ.13

д.т.н. Клименова Василия Александровича

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

### 1. Актуальность темы диссертации.

Диссертационная работа Куракова С.А. связана с решением проблемы непрерывного мониторинга окружающей среды с целью прогнозирования, как природных катаклизмов, так и предотвращения техногенных катастроф. Создание автономных атмосферно-почвенных измерительных комплексов на основе автономных датчиков различных модификаций для контроля изменений ряда стандартных и дополнительных метеорологических величин и предназначенных для непрерывного мониторинга природной среды представляется актуальной и важной проблемой для Российской Федерации, обладающей обширными и часто труднодоступными территориями. В таких условиях контроль состояния окружающей среды требует наличия широкой сети станций климатического, метеорологического и экологического мониторинга, покрывающих территорию страны с необходимым пространственным разрешением, так как существующая сеть станций Росгидромета не является достаточной для решения этих задач. Ее развитие требует применения новых инструментальных средств и использования, созданных на их основе, аппаратно-программных комплексов для определения метеорологических параметров окружающей среды. Решение подобного рода задач вполне соответствуют приоритетам научно-технологического развития Российской Федерации определённых Стратегией научно-технологического развития Российской Федерации. В этом направлении активно работают научные и производственные учреждения, в том числе Институт оптики и атмосферы СО РАН и Институт мониторинга климатических и экологических систем СО РАН.

Таким образом, разработка в работе Куракова С.А. новых автономных комплексов, систем и датчиков контроля природной среды на труднодоступных территориях на основе использования современных радиоэлектронных и информационных технологий является весьма **актуальной задачей**.

### 2. Структура и содержание диссертационной работы

Диссертация 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, сформулированы основные положения, выносимые на защиту.

*В первой главе* рассмотрены требования Всемирной метеорологической организации по контролю изменчивости стандартных и дополнительных метеорологических величин и 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). Проведена оценка основных достоинств и недостатков рассмотренных технических средств. На основании проведенного анализа сформулирована основная цель диссертационной работы и решаемые в ней задачи.

*Вторая глава* посвящена описанию результатов разработки и реализации 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. Представлен разработанный соискателем датчик высоты снежного покрова, основанный на анализе вертикального профиля температуры при переходе из воздушной среды в снежный покров. 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.

*В третьей главе* рассмотрены принципы 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

портативной электронной метеостанции (ПЭМС), а параметры ветра – при использовании аэродинамических свойств БПЛА и его навигационного оборудования. Представленные в 3-й главе технические решения защищены четырьмя патентами.

*В четвертой главе* сформулированы требования к аппаратным средствам для автономного мониторинга объектов природной среды на труднодоступных территориях. Представлены созданные модификации атмосферно-почвенного измерительного комплекса (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 приземном слое атмосферы, 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.

*В заключении* обобщены основные выводы по работе и представлены основные научные и технические результаты, полученные в работе.

*В приложениях* приведены копии полученных патентов, проект руководства по эксплуатации ПЭМС-БПЛА, копия акта испытаний экспериментального образца ПЭМС-БПЛА, акты внедрения диссертационной работы.

Результаты работы докладывались и обсуждались на более 30 международных и российских конференциях, опубликованы в 10 статьях из списка ВАК (1 без соавторов). Новизна технических решений подтверждена десятью патентами РФ (4 без соавторов)

### **3. 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 специальности:

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

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

#### **4. 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.

#### **5. Достоверность полученных результатов**

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.

Соискателем также разработан проект руководства по эксплуатации созданной ПЭМС-БПЛА на 15 листах (“Приложение В” к диссертации).

#### **6. Научная новизна исследований и основные результаты работы**

Научная 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 контролеры-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.

## **7. Положения, выносимые на защиту:**

1. Разработанная измерительная рейка, представляющая собой протяжённую трёхпроводную печатную плату с установленными на ней малогабаритными цифровыми датчиками температуры, обеспечивает контроль высоты снежного покрова по температурному градиенту на границе снега и воздуха с разрешающей способностью, определяемой расстоянием между датчиками и габаритным размером датчика (при использовании датчика DS18B20 разрешающая способность составляет 5 мм), а малое сечение рейки (11 мм) снижает паразитную теплопередачу и уменьшает влияние измерительной рейки на естественный снежный покров.

2. Автоматический регистратор таяния ледников, представляющий собой контроллер-регистратор и термокосу с малым сечением (1,1 см), устанавливаемую с упором в дно пробурённой в леднике скважины, позволяет с заданным временным периодом осуществлять контроль профиля температуры и по отличию от температуры вне скважины вычислять верхнюю границу ледника с разрешающей способностью, определяемой расстоянием между цифровыми датчиками температуры, которые установлены на жестких сегментах (длиной 40 см), соединённых между собой гибким кабелем, обеспечивающим, при таянии ледника, автоматическое складывание термокосы, а дополнительное наличие в контроллере солнечной батареи, радиомодема, GPS-приемника позволяет оперативно передавать информацию о профиле температуры и перемещении ледника.

3. Разработанный алгоритм определения средних значений горизонтальной составляющей скорости в интервале (0...20) м/с с погрешностью  $\pm 0,5$  м/с и направления ветра в интервале (0...360) град.  $\pm 15$  град. обеспечивает их вычисление по перемещению беспилотного летательного аппарата (БПЛА)

мультироторного типа, движущегося под воздействием ветра, находящегося в режиме удержания высоты и вертикально направленного вектора тяги, снабженного системой спутниковой навигации, электронным гироскопом и электронным магнитным компасом. При этом полный усреднённый вектор скорости и направления ветра определяется путем измерения наклона вектора тяги БПЛА при его зависании в точке или при равномерном движении.

4. Созданная обширная сеть автономных атмосферно-почвенных измерительных комплексов АПИК, включающих измерительные датчики, автономные контролеры-регистраторы, радиомодули передачи информации, сервер и базу данных и разработанное к ним программное обеспечение, позволяют осуществить долговременный комплексный мониторинг состояния природной среды в удаленных и труднодоступных болотных, лесных, степных и горных ландшафтах без участия операторов-метеорологов.

Представленные в положениях научная новизна, личный вклад автора диссертационной работы и её практическое значение соответствуют сформулированным ранее целям исследования.

## **8. Практическая значимость результатов диссертационной работы**

Практическая значимость разработанных, изготовленных и испытанных измерительных датчиков и созданных на их основе АПИК состоит в значительном расширении сетей контроля погодных, климатических и экологических процессов природной среды на удалённых территориях, включая водные объекты, болота, мерзлотные грунты и горные системы.

Практическое значение работы заключается в том, что предложенные соискателем технические решения позволили создать более 200 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.

## **9. Замечания по диссертационной работе**

1. В представленных в работе положениях, вынесенных на защиту, достаточно полно отражены основные результаты работы, однако в первом положении, например, недостаточно представлены научные результаты, на основе которых достигнуты те или иные технические характеристики датчиков

и измерительной рейки в целом.

2. Несмотря на очевидную актуальность рассматриваемой работы, соискателем слабо раскрыт этот раздел как в автореферате, так и в самой диссертации.

3. Как в автореферате, так и в тексте диссертации автор в качестве обоснования актуальности и важности работы в водных разделах ссылается на применение современных технологий, однако конкретизация тех, на которых строятся исследования, не приводится.

4. Работа оформлена аккуратно, хорошо иллюстрирована, однако представляется излишнее наличие фотографий, а не графиков и схем.

5. В списке цитируемой литературы присутствие зарубежных источников явно недостаточно.

## **10. Заключение**

Совокупность выполненных соискателем исследований и их результаты демонстрируют решение актуальной задачи, имеющей практическое значение. Отмеченные замечания не снижают уровень научной и практической значимости результатов выполненной диссертационной работы. Содержание автореферата полностью отражает содержание, основные результаты и выводы диссертационной работы основным положениям диссертации.

Диссертация Куракова Сергея Анатольевича "Автономные измерительные комплексы для контроля природной среды на труднодоступных территориях" является завершенной научно-квалификационной работой, в которой содержится решение задачи, имеющей существенное значение для разработки автономных аппаратно-программных комплексов для контроля изменений ряда стандартных и дополнительных метеорологических величин.

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.

На обработку персональных данных согласен.

Клименов Василий Александрович,  
доктор технических наук, профессор,  
заведующий кафедрой – руководитель отделения материаловедения на правах  
кафедры Инженерной школы новых производственных технологий,  
Федерального государственного автономного образовательного учреждения  
высшего образования "Национальный исследовательский Томский  
политехнический университет"  
634050, г. Томск, пр-т. Ленина, 30  
тел. +7 3822701777, klimenov@tpu.ru

Подпись В.А. Клименова  заверяю  
Ученый секретарь Ученого совета ТПУ

  
 Аянъева Ольга Афанасьевна,  


Дата подписания отзыва 4.12.2020