

ОТЗЫВ

официального оппонента д.ф.-м.н. Сакерина Сергея Михайловича
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. Решение задач прогноза погоды, климатических и экологических исследований окружающей среды требует развития сети станций и постов мониторинга метеорологических характеристик атмосферы и подстилающей поверхности с необходимым пространственным разрешением. Плотность существующей сети станций Росгидромета пока недостаточна, особенно в труднодоступных районах на севере Азиатской части России. Из-за увеличения числа опасных природных явлений, возрастает также потребность в измерении новых (дополнительных) гидрометеорологических параметров.

Из представленной работы следует, что современные технологии позволяют создавать не только эффективные и недорогие средства измерений, но и автономные аппаратно-программные комплексы, перспективные для организации мониторинга окружающей среды в труднодоступных районах (Арктика, ледники). Таким образом, диссертационная работа Куракова С.А. является важной и **актуальной, как с практической, так и с научной точки зрения.**

Целью диссертационной работы являлось создание датчиков и автономного атмосферно-почвенного измерительного комплекса (АПИК) для регистрации ряда стандартных (температура, атмосферное давление и влажность воздуха, скорость и направление ветра) и дополнительных метеорологических величин (высота снежного покрова, профиль температуры в почве, снежных и ледовых покровах, поток солнечной радиации, уровень воды в водоемах) в режиме мониторинга на труднодоступных территориях. В рамках работы, соискателем решены задачи разработки широкого круга датчиков (устройств, систем) для автоматизированных измерений вышеперечисленных метеорологических величин с использованием оригинальных и достаточно эффективных технических решений.

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 метеозонда для измерений вертикального профиля температуры среды, обеспечивающая уменьшение теплопередачи через соединительный кабель, передающий информацию на контроллер-регистратор (защищена патентом РФ);

в) предложена оригинальная конструкция измерителя высоты снежного покрова в горах для оценки лавинной опасности (защищена патентом РФ);

г) впервые предложены и обоснованы способы измерений средних 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 автономных (без участия операторов) измерений стандартных и дополнительных метеовеличин в удаленных и труднодоступных болотных, лесных, степных и горных районах; АПИК включает измерительные датчики, автономные контролеры-регистраторы, радиомодули передачи информации, сервер, базу данных и программное обеспечение.

Практическое значение работы состоит в том, что на основе технических решений, предложенных соискателем, созданы более 300 устройств, комплексов и систем контроля параметров природной среды. Это оборудование используется во многих регионах России, в том числе более 70 АПИК работают и передают информацию по каналам сотовой и спутниковой связи, что подтверждает широкую **реализацию результатов диссертационной работы**. В целом результаты работы реализованы в 10 различных НИР и ОКР, выполненных в ИМКЭС СО РАН. В приложениях к диссертационной работе представлено 7 справок о внедрении разработок в различных организациях. Результаты исследований представляют интерес для организаций Роскомгидромета, МЧС России, а также научных институтов, занимающихся исследованием окружающей среды.

Степень обоснованности научных положений и полученных результатов. Научные положения, выносимые на защиту, сформулированы с учетом результатов экспериментальных исследований и испытаний разработок в реальных условиях; обеспечены необходимыми математическими выкладками и ссылками на известные литературные источники.

Достоверность полученных результатов обеспечена тем, что калибровка измерительных средств выполнялась с помощью соответствующего контрольно-испытательного оборудования, а в сравнительных испытаниях, проведенных на территории Сибири и Дальнего Востока, использовалась аттестованная аппаратура. В приложении В к диссертации представлены Акт и протоколы лабораторных испытаний двух экспериментальных образцов портативной автоматической

метеостанции ПЭМС-БПЛА. Соискателем также разработан проект руководства по эксплуатации ПЭМС-БПЛА (приложение Б).

Личный вклад соискателя в выполненную работу (выбор технических решений, разработка методик и устройств, проведение испытаний и т.д.) является определяющим и не вызывает сомнений.

Диссертация содержит 144 страниц основного текста, включая 63 рисунка, и состоит из Введения, четырех глав, Заключение, списка литературы (118 наименований) и четырех приложений.

Во Введении представлены: актуальность темы, цель и задачи исследований, научная новизна, практическая значимость, основные положения, выносимые на защиту, и все другие разделы соответствующие требованиям ВАК. В 1-й главе сделан обзор современного состояния технических средств, которые используются в измерениях гидрометеорологических характеристик окружающей среды. Во 2-й главе приведены описания разработок соискателя с результатами их испытаний: датчиков/зондов для измерений высоты снежного покрова, профилей температуры в снеге, болотах, грунтах, а также контроля процесса таяния ледников и изменений уровня воды. В 3-й главе рассмотрена портативная метеостанция для измерений полей основных метеовеличин на высотах до 2 км с использованием беспилотного летательного аппарата. В 4-й главе приведено описание автономных атмосферно-почвенных измерительных комплексов для использования на труднодоступных территориях, а также результаты апробации комплексов в различных регионах. В Заключении перечислены разработки соискателя и результаты их внедрения.

Полноту изложения материалов диссертационной работы можно считать **достаточной**. По теме диссертации **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 конференций.

Содержание автореферата **соответствует** основным положениям и результатам, изложенным в диссертации.

Отмечу недостатки работы и замечания по используемой терминологии.

1. В диссертации не в полной мере отражены методические вопросы испытаний разработок. Приведу несколько примеров.

(п. 2.1). Физическая основа измерений высоты снежного покрова на основе *«определения точки перегиба в вертикальном профиле температуры»* - понятна. Но нигде не приводятся количественные критерии (и их обоснование) определения точки перегиба. Это какое-то пороговое значение величины (dT/dh) , независимое

от средней температуры, или ещё что-то учитывается ? Какая погрешность этого метода и датчика в реальных условиях эксплуатации ? Почему нет сравнений с аналогами или стандартными средствами (пусть даже менее точными) ?

(п. 2.4). Установка линейки (цепочки) датчиков в пластиковой трубе должна приводить к каким-то искажениям (разная теплопроводность, замкнутый объем) и отличию измеряемого профиля температуры от реального. Возможно, эти искажения невелики или в данном случае достаточно иметь пусть искаженную, но единообразную информацию от системы датчиков. Хотя бы кратко этот вопрос надо было рассмотреть, например, как в п. 2.6 анализировалось влияние саморазогрева датчиков и теплопередачи по кабелю.

В п. 2.6 (и в других случаях), автор приводит результаты для одного или нескольких дней измерений, но делает выводы об испытаниях более общего характера. Остается непонятным: в чём состояла методика испытаний? что служило «эталоном» при сравнении? Какой объем статистических данных? Как оценивалась погрешность? Кстати, в тексте и таблицах, вместо погрешности (неопределенности) измерений, часто используется «точность», которая, качественно, имеет противоположное значение.

В п. 2.7 рассмотрен вопрос индивидуальной калибровки датчиков DS18B20, существенно повышающих точность измерений. Это замечательно, но не менее важно знать сроки сохранения такой калибровки в реальных условиях (год, месяц, неделя?). Автор сам указывает (стр. 62) на необходимость *«периодической проверки, чтобы быть уверенным в отсутствии временных дрейфов»*. Однако информации о периодичности проверок не приводит. Это замечание можно распространить и на другие разработки. Очевидно, что автономная работа в труднодоступных районах требует проработку вопросов ресурсных испытаний и сохранения калибровок.

2. Непонятно: зачем при автоматизации измерений приходящей/уходящей солнечной радиации (п. 2.9), вместо стандартного пиранометра, предназначенного для абсолютных измерений, использована самоделка. Главным при разработке пиранометров является решение технологических задач, связанных с выбором (исследованием, обоснованием) материалов, формы и покрытий приемника излучения, которые должны удовлетворять требованиям: ортотропности приёмной площадки для разных углов прихода радиации, сохранения оптических свойств и однородности спектральной чувствительности в диапазоне 0.3-3(4) мкм, принятом для пиранометров. Судя по всему, исследований оптических свойств авторского датчика не проводилось. Нет также обоснования по использованию в качестве входных устройств фторопласта, вместо стекла/кварца; форма фторопластовой защиты тоже различна: полусферическая для приходящей радиации и плоская для

уходящей. Более широкий спектральный диапазон датчика (0.3-7 мкм, а на стр. 106 почему-то указано до 9 мкм) – это не благо, а ещё один источник расхождения с данными стандартных измерений. Из фразы «*Измерительный модуль имеет два зачернённых и два блестящих алюминиевых сектора*», следует, что автор не осознаёт важности вышеуказанных требований: блестящие секторы имеют зеркальную составляющую, а должны быть матовые с диффузным коэффициентом отражения близким к 1. Всё перечисленное, приводит к отличиям от стандартных измерений: в одних случаях незаметных, в других - существенных. В частности, замеченные автором разные «*Провалы на зависимостях регистрируемой радиации двух приборов*», при наличии облачности (рис. 2.2.1), указывают на неадекватность реакции разработанного датчика, в сравнении со стандартным пиранометром.

3. В тексте диссертации часто, но не всегда удачно, используются термины «контроль» и «мониторинг» вместо измерений/регистрации метеорологических характеристик. «**Контроль**/контролировать» - широкое и расплывчатое понятие, его основные синонимы: следить, проверять, управлять, регулировать. Контроль, далеко не всегда означает измерение количественных характеристик. Часто, это слежение/наблюдение за какими-то процессами/объектами и принятие решений: есть/нет, больше/меньше и т.д. В частности, «*контролировать изменения*» - это что? Определять - есть изменения или нет ? «**Мониторинг**» (применительно к метеорологии) - это действующая система регулярных долговременных и единообразных измерений метеовеличин для решения задач прогноза погоды и исследований климата. В диссертации используется термин «мониторинг», хотя, в качестве результатов, в основном, приводятся разовые циклы измерений с целью испытаний разработок и демонстрация перспектив их использования.

Есть ещё несколько замечаний и ошибок второстепенного характера, которые переданы непосредственно соискателю. Наличие всех указанных недостатков не снижает значимости полученных результатов и не влияют на общую положительную оценку диссертационной работы Куракова С.А.

Заключение. Диссертация Куракова Сергея Анатольевича "Автономные измерительные комплексы для контроля природной среды на труднодоступных территориях" является завершённой научно-квалификационной работой, связанной с разработкой автономных датчиков и аппаратно-программных комплексов, предназначенных для измерений гидрометеорологических характеристик. Важно отметить многочисленный характер, оригинальность разработок и их широкое использование в различных регионах России. Тематика диссертационной работы

соответствует областям исследований 2, 3 паспорта научной специальности 05.11.13 – Приборы и методы контроля природной среды, веществ, материалов.

Считаю, что по объему и качеству изложенного материала, научной новизне и практической значимости диссертационная работа Куракова С.А. **соответствует требованиям** пп. 8-10 Порядка присуждения ученых степеней в Национальном исследовательском Томском политехническом университете (Приказ № 93/од от 06.12.2018), а сам соискатель **заслуживает** присуждения ученой степени кандидата технических наук по специальности 05.11.13.

Я, Сакерин Сергей Михайлович, даю согласие на включение моих персональных данных в документы, связанные с работой диссертационного совета:

доктор физико-математических наук,

старший научный сотрудник,

главный научный сотрудник лаборатории оптики аэрозоля

Федеральное государственное бюджетное учреждение науки

Институт оптики атмосферы им. В.Е. Зуева Сибирского отделения Российской академии наук

634055, г. Томск, пл. академика Зуева, 1.

тел. 3822-492-848

e-mail: sms@iao.ru

4 декабря 2020 г.

Официальный оппонент,

д.ф.-м.н.


_____ С.М. Сакерин

Подпись Сакерина С.М. удостоверяю

Ученый секретарь ИОА СО РАН




_____ 7 декабря 2020 г.

О.В. Тихомирова