

Электродинамика и антенные системы

УДК 621.396.67

ЗАДАЧИ И ПРИНЦИПЫ ОРГАНИЗАЦИИ СИСТЕМЫ СБОРА И ОБРАБОТКИ ДАННЫХ МНОГОЧАСТОТНОЙ СВЧ РАДИОМЕТРИЧЕСКОЙ СИСТЕМЫ КОНТРОЛЯ СОСТОЯНИЯ МЕТЕООБРАЗОВАНИЙ С КОМПЕНСАЦИЕЙ ФОНОВЫХ ШУМОВ

Ростокин Илья Николаевич

кандидат технических наук, доцент кафедры «Управление и контроль в технических системах» Муромского института (филиала) ФГБОУ ВО «Владимирский государственный университет имени Александра Григорьевича и Николая Григорьевича Столетовых».
E-mail: rostockin.ilya@yandex.ru.

Федосеева Елена Валерьевна

кандидат технических наук, доцент кафедры «Радиотехника» Муромского института (филиала) ФГБОУ ВО «Владимирский государственный университет имени Александра Григорьевича и Николая Григорьевича Столетовых».
E-mail: elenafedoseeva@yandex.ru.
Адрес: 602264, г. Муром, ул. Орловская, д. 23.

Щукин Георгий Георгиевич

доктор физико-математических наук, профессор Военно-космической академии имени А. Ф. Можайского.
E-mail: ggshchukin@mail.ru.
Адрес: 197082, С.-Петербург, Ждановская, 13.

Ростокина Елена Анатольевна

кандидат технических наук, доцент кафедры «Управление и контроль в технических системах» Муромского института (филиала) ФГБОУ ВО «Владимирский государственный университет имени Александра Григорьевича и Николая Григорьевича Столетовых».
E-mail: rostockina.el@yandex.ru.
Адрес: 602264, г. Муром, ул. Орловская, д. 23.

Аннотация: Представлена система сбора и обработки данных измерений многочастотного СВЧ радиометрического метеокомплекса, предназначенного для оперативного контроля состояния метеообразований с компенсацией влияния фоновых шумов. Показана структура и основные параметры функциональных узлов системы сбора и обработки экспериментальных данных. Представлены результаты СВЧ радиометрических исследований зимней атмосферы.

Ключевые слова: система сбора и обработки данных, многочастотная СВЧ радиометрическая система, компенсация фоновых шумов.

Введение

На основе СВЧ радиометрических измерений возможна организация дистанционной непрерывной оценки физических параметров исследуемых природных сред по уровню их собственного радиошумового излучения [1]. Возможности структурного и пространственного

анализа состояния исследуемой области расширяются при переходе к многочастотным измерениям с реализацией углового сканирования.

При СВЧ радиометрических исследованиях метеообразований атмосферы, и прежде всего облачности и связанных с ней опасных явле-

ний погоды (ливень, гроза, град, смерч), выполнение измерений в нескольких частотных диапазонах позволяет отслеживать разные этапы их развития, в частности, изменение характера облачности, влагозапаса атмосферы, интенсивности осадков. Выполнение углового сканирования в процессе проведения измерений даёт возможность исследовать пространственный характер изменения метеопараметров, в частности, при смене угла места можно получить высотные профили водозапаса облаков [1-5].

Изменение углового положения антенны СВЧ радиометрической системы относительно поверхности земли приводит к изменению вклада радишумового излучения подстилающей поверхности – фонового излучения - во входной сигнал системы, принимаемого через область рассеяния диаграммы направленности антенны. Его влияние сказывается в случайных вариациях помехового прироста входного сигнала системы [6-8]. В связи с этим для повышения точности радиометрических измерений необходима компенсация влияния фоновых шумов на системном уровне. Её можно выполнить при приёме дополнительного сигнала по специально организованному антенному каналу с последующим выполнением разностного алгоритма выделения информационной составляющей входного сигнала [9-15].

Осуществление многочастотных СВЧ радиометрических измерений с выполнением углового сканирования связано с регистрацией, упорядочиванием и обработкой большого количества первичных результатов измерений, что привело к необходимости решения задачи построения специальной системы сбора и обработки данных многочастотной СВЧ радиометрической системы.

Представленная в данной работе система сбора и обработки данных многочастотной СВЧ радиометрической системы контроля состояния метеобразований с компенсацией фоновых шумов позволяет в автоматическом режиме регистрировать и обрабатывать первичные радиометрические данные от этапа

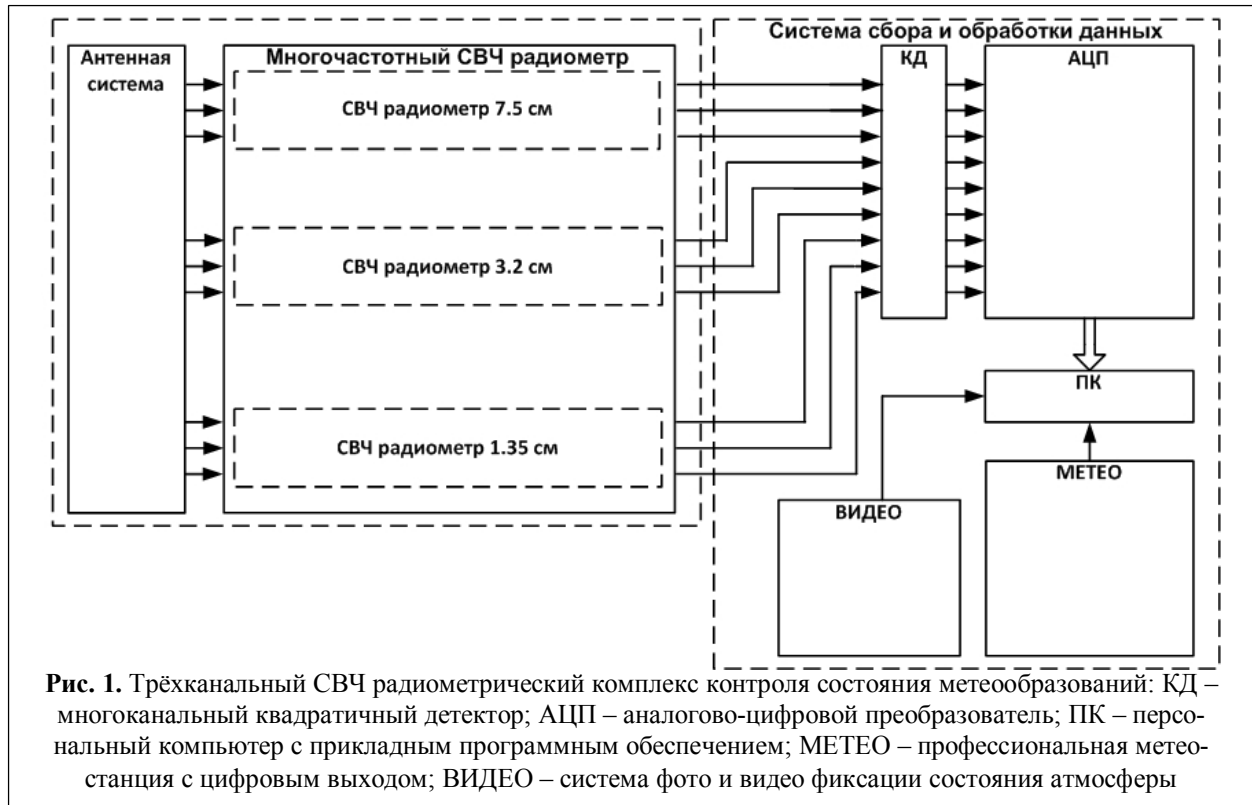
оцифровки до решения задач оценки состояния метеобразований с возможностью введения операций корреляционного и регрессионного анализа.

Задачи и структурный состав системы сбора и обработки данных

Система сбора и обработки формирует комплекс данных по результатам измерений в трёх частотных диапазонах (1,35 см; 3,2 см; 7,5 см) СВЧ радиометрической системой с компенсацией фоновых шумов. При этом для каждого частотного диапазона на вход системы сбора и обработки данных поступают три измерительных сигнала: два сигнала основного измерительного канала на двух ортогональных поляризациях (горизонтальная и вертикальная) при преимущественном приеме радишумового излучения по главному лепестку диаграммы направленности антенны и сигнал компенсации по дополнительному антенному каналу при приёме излучения из угловой области рассеяния диаграммы направленности антенны [9-13].

Исходя из условий функционирования многочастотной СВЧ радиометрической системы с компенсацией фоновых шумов и задач оценки состояния метеобразований, система сбора и обработки данных должна обеспечивать решение следующих задач:

- оцифровка данных измерений многочастотной СВЧ радиометрической системы;
- экспорт полученных данных в файлы различных форматов;
- программная реализация процедуры разностного алгоритма компенсации фоновых шумов по каждому частотному каналу;
- преобразование уровня выходных сигналов измерительной системы в величины радиояркостных температур при учёте данных процедуры калибровки по каждому каналу в отдельности;
- реализация математических операций корреляционного и регрессионного анализа для выполнения оценки метеорологических параметров метеобразований атмосферы по ре-



зультатам дистанционных многочастотных СВЧ радиометрических измерений.

Структурный состав разработанного трёхканального СВЧ радиометрического комплекса со специальной системой сбора и обработки данных измерений для контроля состояния метеорообразований приведён на рис. 1.

Основные функциональные части системы сбора и обработки данных:

- многоканальный квадратичный детектор (КД), позволяет одновременно преобразовать мощность каждого микроволнового измерительного канала ($P_1(t) \dots P_n(t)$) в уровни постоянного напряжения ($U_1(t) \dots U_n(t)$), достаточные для последующей оцифровки;

- аналогово-цифровой преобразователь (АЦП) предназначен для оцифровки, хранения и экспорта получаемых данных в файлы различных форматов (*.txt, *.csv, *.data). АЦП имеет следующие основные характеристики: 32 канала аналогового ввода; разрешение 12 бит; регулируемый коэффициент усиления 1, 10, 100, 200; диапазон входного сигнала ± 10 В; ± 1 В; ± 0.1

В; ± 0.05 В; подключение к USB-порту персонального компьютера или ноутбука;

- метеостанция Conrad Professional USB WH2080 (МЕТЕО) предназначена для сбора и отображения основных метеорологических параметров на позиции многочастотной микроволновой радиометрической системы: внутренней и внешней температуры воздуха, внутренней и внешней влажности, количества осадков, скорости и направления ветра, атмосферного давления. Измеренные данные наружных датчиков передаются на метеостанцию по беспроводной технологии на частоте 868 МГц;

- система видеонаблюдения (ВИДЕО) предназначена для визуального контроля состояния атмосферы в осевом направлении визирования микроволновой радиометрической системы, а также оперативного визуального контроля работоспособности основных электромеханических приводов микроволновой радиометрической системы. Система состоит из двух камер высокой четкости и производит непрерывную запись видео, аудио и фото материалов в ре-

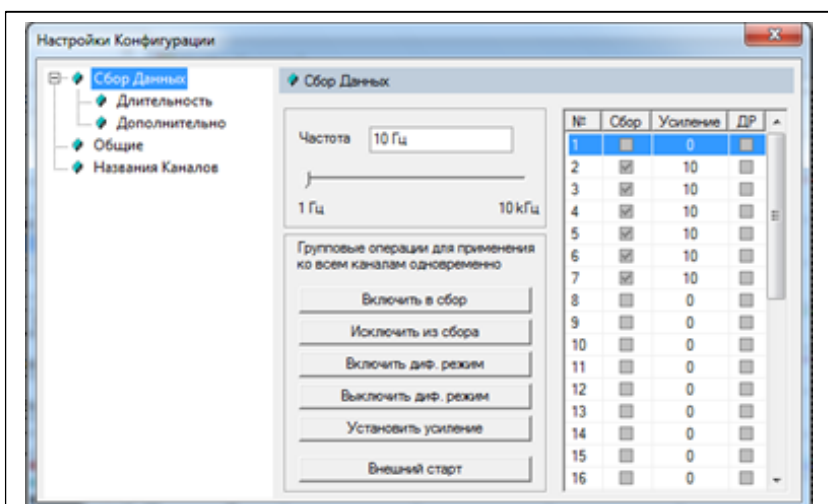
альном времени на управляющий компьютер. Угол обзора объектива камер 170° ($F=2,5$, $f=2,3$ mm) (x2), качество видео 2x Full HD 1080p (1920x1080) @ 30fps, 2x HD 720p (1280x720) @ 30fps, формат записи MPEG4, коммутация с компьютером HDMI или USB 2.0;

- персональный компьютер (ПК) предназначен для визуализации, хранения, обработки и передачи получаемой информации от микроволновой радиометрической системы. Системные требования к управляющему компьютеру определяются используемым программным обеспечением и объемом получаемых данных; минимальные требования к операционной системе: наличие USB-порта не ниже 2.0; процессор - не ниже Celeron 600 МГц; оперативная память - не менее 256 Мб; объём жёсткого диска определяет продолжительность записи (не менее 10 Гб); операционная

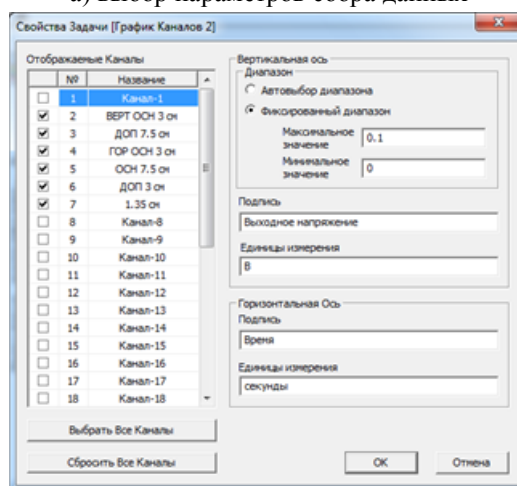
система - не ниже Windows 2000; на компьютер устанавливается программа регистрации данных радиометрических измерений, которая обеспечивает предварительную подготовку к измерениям, проведение измерений, поддержание базы данных с результатами измерений, визуализацию и просмотр результатов в виде графиков, документирование и экспорт данных измерений, возможность распечатки результатов измерений.

Условия и порядок функционирования системы сбора и обработки данных

Функционирование системы сбора и обработки данных в составе многочастотной микроволновой радиометрической системы начинается с



а) выбор параметров сбора данных



б) выбор диапазона измерений

Рис. 2. Этапы предварительной настройки системы сборки и обработки данных

подачи на входы АЦП сигналов от многоканального квадратичного детектора и подключения АЦП к USB-порту персонального компьютера.

После запуска программы регистрации устанавливаются параметры сбора данных (рис. 2а) и задаётся диапазон изменения входного напряжения (рис. 2б).

После проведения предварительных настроек система сбора и обработки данных готова к выполнению измерений. Пример визуализации первичных данных многочастотных микроволновых радиометрических измерений – значений выходных напряжений – представлен на рис. 3.

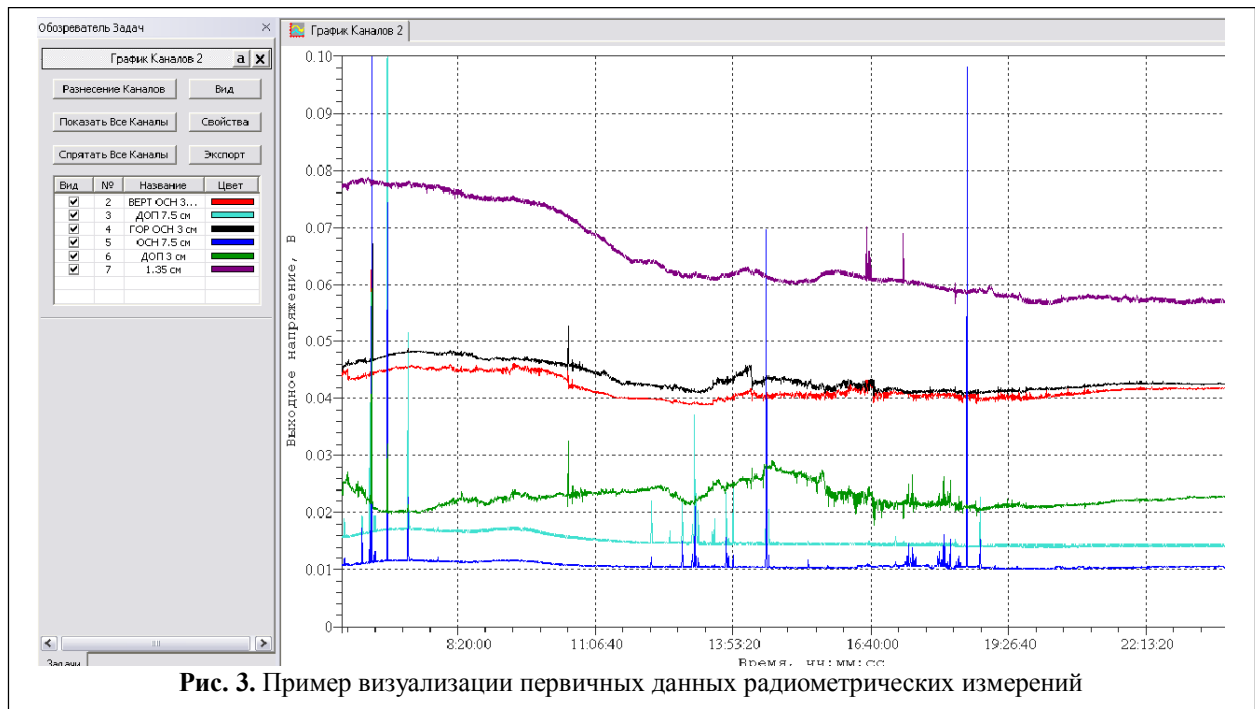


Рис. 3. Пример визуализации первичных данных радиометрических измерений

Для системы сбора и обработки была составлена специальная программа обработки и анализа данных многочастотных микроволновых измерений, позволяющая не только адаптировать визуализацию результатов под задачи анализа, но и включать определённую математическую обработку результатов, как совместную для всех частотных каналов одновремен-

но, так и отдельную для определённого канала. Пользовательский интерфейс программы представлен на рис. 4.

Вкладка «Калибровка шкалы» меню «Настройки» позволяет откалибровать вертикальную ось графика в следующих величинах: температура, напряжение, децибелы, единичная. Последние две величины используются при ис-

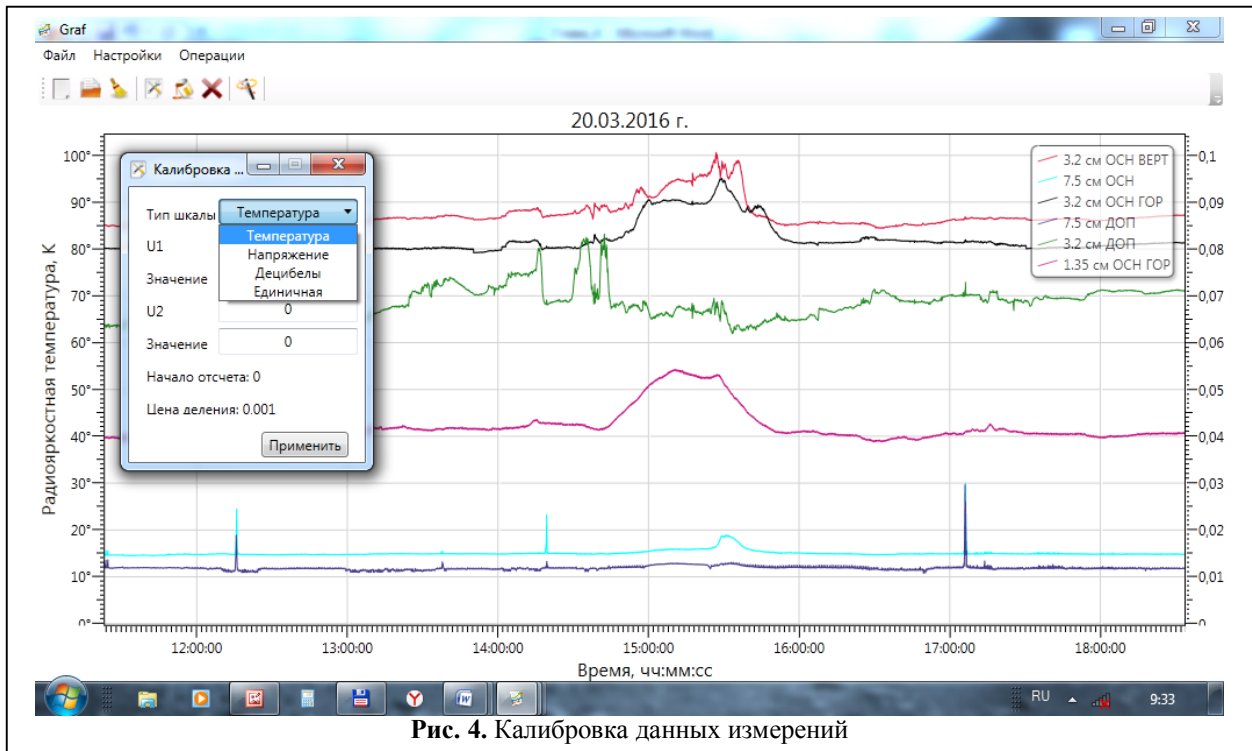


Рис. 4. Калибровка данных измерений

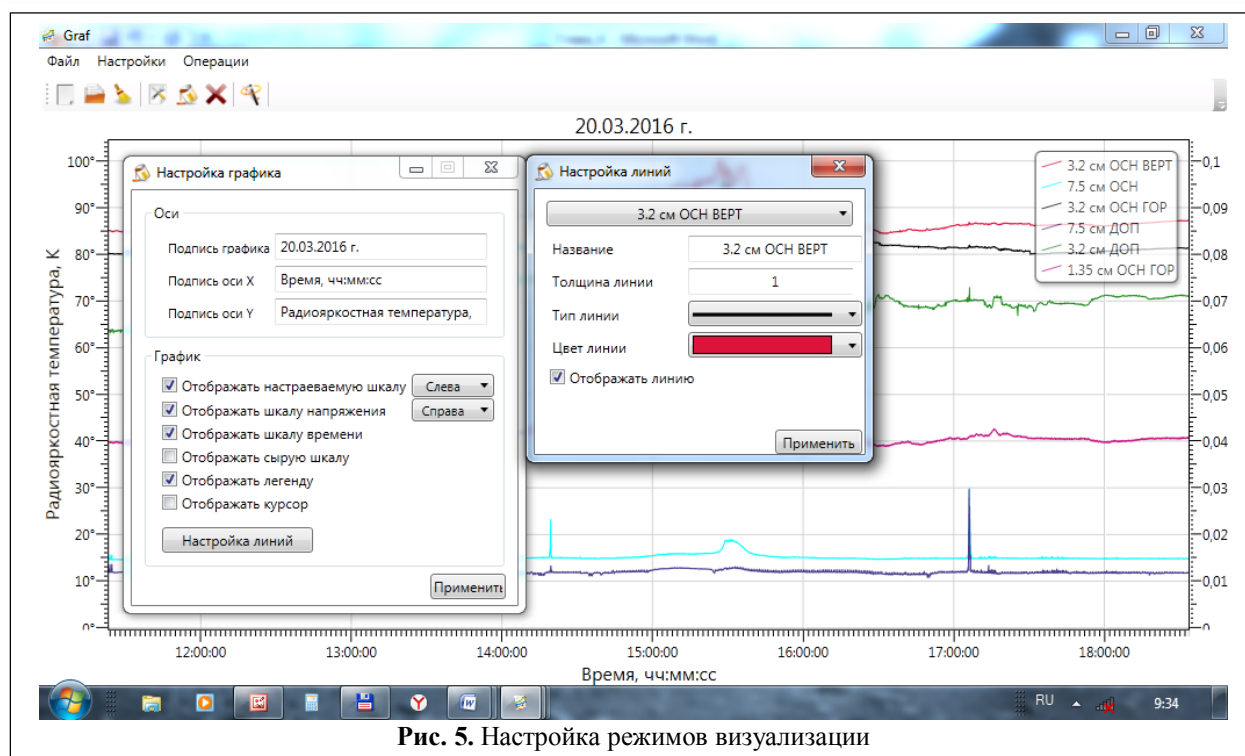


Рис. 5. Настройка режимов визуализации

следовании направленных свойств (диаграмм направленности) антенны многочастотной микроволновой радиометрической системы.

Вкладка «**Настройка графиков**» позволяет пользователю задать название графика и подписи всех его осей (рис. 5), а также настроить отображение измерительных шкал графика,

свойств легенды и курсора графика. Вкладка «**Настройка линий**» позволяет для каждого измерительного канала задать название, толщину, тип и цвет отображаемой линии.

Вкладка «**Математические операции**» позволяет производить основные математические операции (сложение, вычитание, умноже-

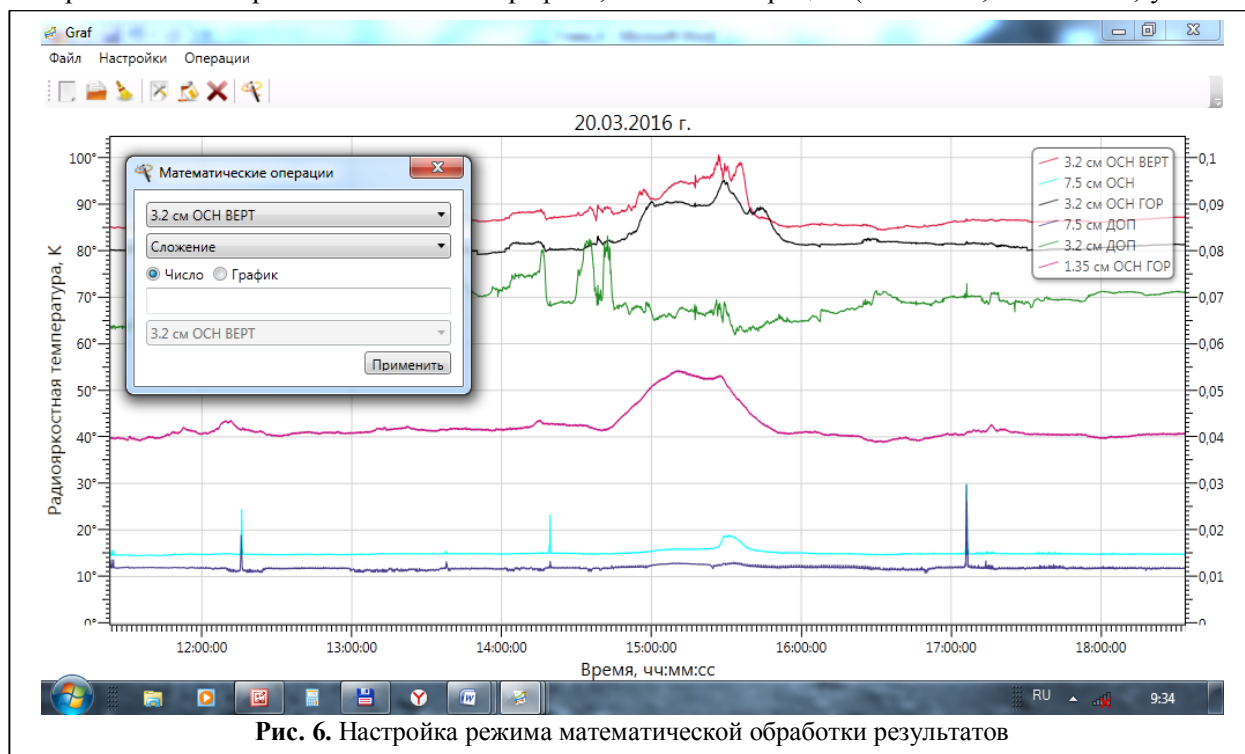


Рис. 6. Настройка режима математической обработки результатов

ние и деление) между измерительными каналами, а также между любым измерительным каналом и числовыми значениями коэффициентов регрессии при решении обратных задач.

В системе обработки данных предусмотрена программная процедура компенсации влияния фонового излучения, при этом выполняется операция вычитания сигнала ДОП – канала каждого частотного диапазона из сигналов ОСН – каналов ВЕРТ и ГОР поляризации соответствующего частотного диапазона. При наличии различий уровня сигналов на вертикальной и горизонтальной поляризации программно реализуется определение временного тренда поляризационного контраста. Пример результатов выполнения указанной процедуры показан на рис. 7.

Результаты измерений радиотеплового излучения атмосферы трехканальным СВЧ радиометрическим комплексом

Интересная метеорологическая ситуация была зафиксирована с 18:44:00, 22.02.2016 г. до 09:00:00, 23.02.2016 г. в районе загородного полигона с координатами (широта 55°26'N,

долгота 42°1'E), расположенного на расстоянии 20 км от г. Муром. В течение данного периода наблюдений происходило выпадение как твердых обводнённых атмосферных осадков (мокрый снег) при небольших отрицательных температурах, так и выпадение жидких осадков (дождь) при положительных температурах, что позволило оценить влияние сложных зимних метеоусловий на результаты многочастотных микроволновых исследований радиотеплового излучения атмосферы.

За данный период наблюдений температура воздуха изменялась от минус 1,2 °С до + 2,5 °С, относительная влажность от 97 % до 76 %, атмосферное давление от 734 мм.рт.ст. до 743 мм.рт.ст, скорость ветра от 2 м/с до 8 м/с с порывами до 12 м/с.

Начиная с 18:44:00, 22.02.2016 г., и до 23:44:00, 22.02.2016 г., наблюдалась слабая метель, сопровождавшаяся налипанием мокрого снега на провода, температура воздуха изменялась от минус 3,8 °С до 0 °С, после 23:44:00, 22.02.2016 г., и до конца наблюдений 09:00:00 23.02.2012 г., температура воздуха постепенно повышалась до + 2,5 °С с неболь-

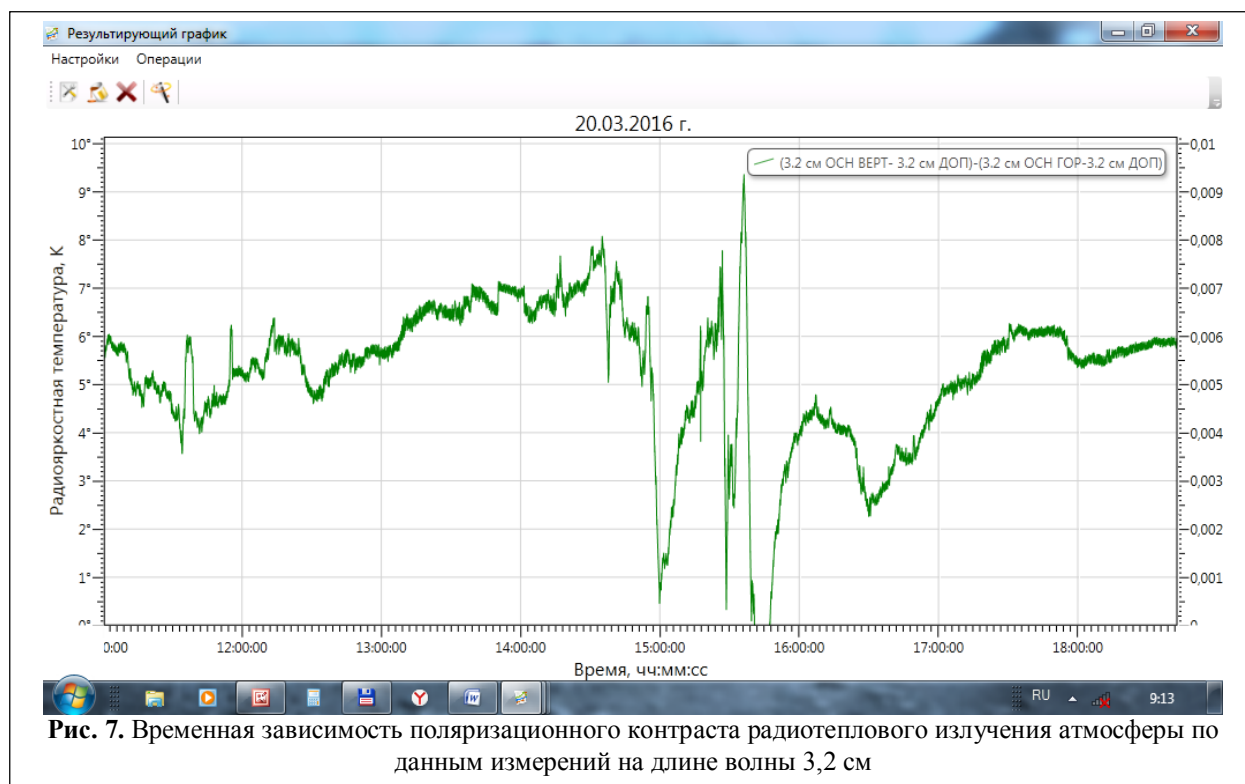
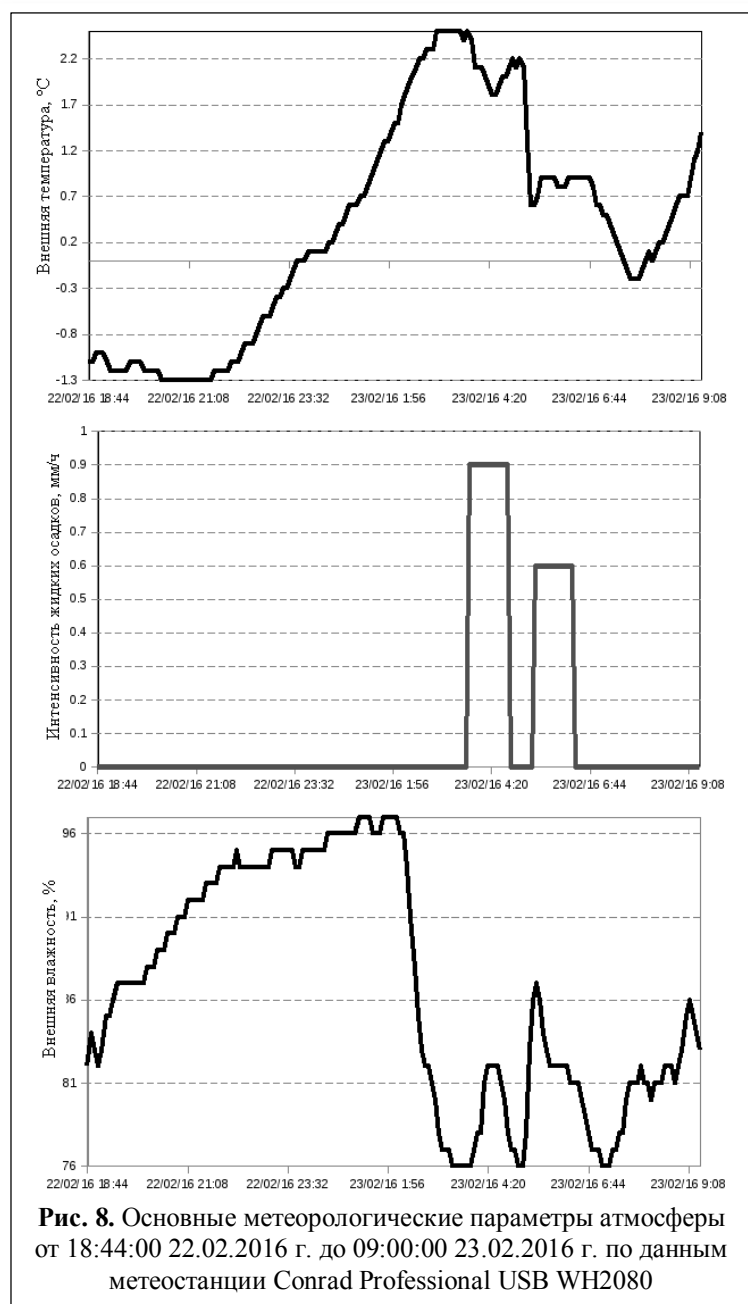


Рис. 7. Временная зависимость поляризационного контраста радиотеплового излучения атмосферы по данным измерений на длине волны 3,2 см



шим спадом до минус 0,2 °С в районе 07:50:00, 23.02.2016 г. В период с 03:49:00 до 04:49:00, 23.02.2016 г. зафиксировано выпадении жидких осадков с интенсивность 0,9 мм/ч, а с 05:24:00 по 06:19:00, 23.02.2016 с интенсивность 0,6 мм/ч.

Основные метеорологические параметры атмосферы за период наблюдений от 18:44:00 22.02.2016 г. до 09:00:00 23.02.2016 г. по данным автоматизированной метеостанции, установленной на позиции многочастотной микро-

волновой радиометрической системы, представлены на рис. 8.

Результаты измерений многочастотной СВЧ радиометрической системы приведены на рис.9.

Анализируя характер изменения радиотеплового излучения зимней атмосферы за данный промежуток времени, можно сделать следующие выводы: при выпадении снега наиболее чувствительным является 3,2 см канал; в процессе последующего потепления и увеличения влажности снега и выпадения снега с дождем, в канале 1,35 см снижается чувствительность к изменению состояния атмосферы и наблюдается насыщение выходного сигнала; в условиях выпадения сильного мокрого снега наиболее чувствительным к изменению его интенсивности является канал 7,5 см.

В результате последующей обработки результатов измерений выполнена калибровка данных по каждому частотному каналу отдельно и проведена компенсация влияния фонового излучения. На рис. 10 приведены результаты такой обработки для данных измерений на длине волны 7,5 см.

На рис.10 приведено графическое представление временных зависимостей антенной температуры СВЧ радиометрической системы при изме-

рениях радиотеплового излучения атмосферы без компенсации фонового излучения (7,5 ОСН ВЕРТ) и при выполнении данной компенсации (7,5 ОСН ВЕРТ-ДОП). Сформированные массивы численных данных СВЧ радиометрических измерений и синхронизированных по времени данных регистрации основных метеорологических характеристик позволяют решать аналитические и исследовательские задачи с реализацией корреляционных и регрессионных оценок.

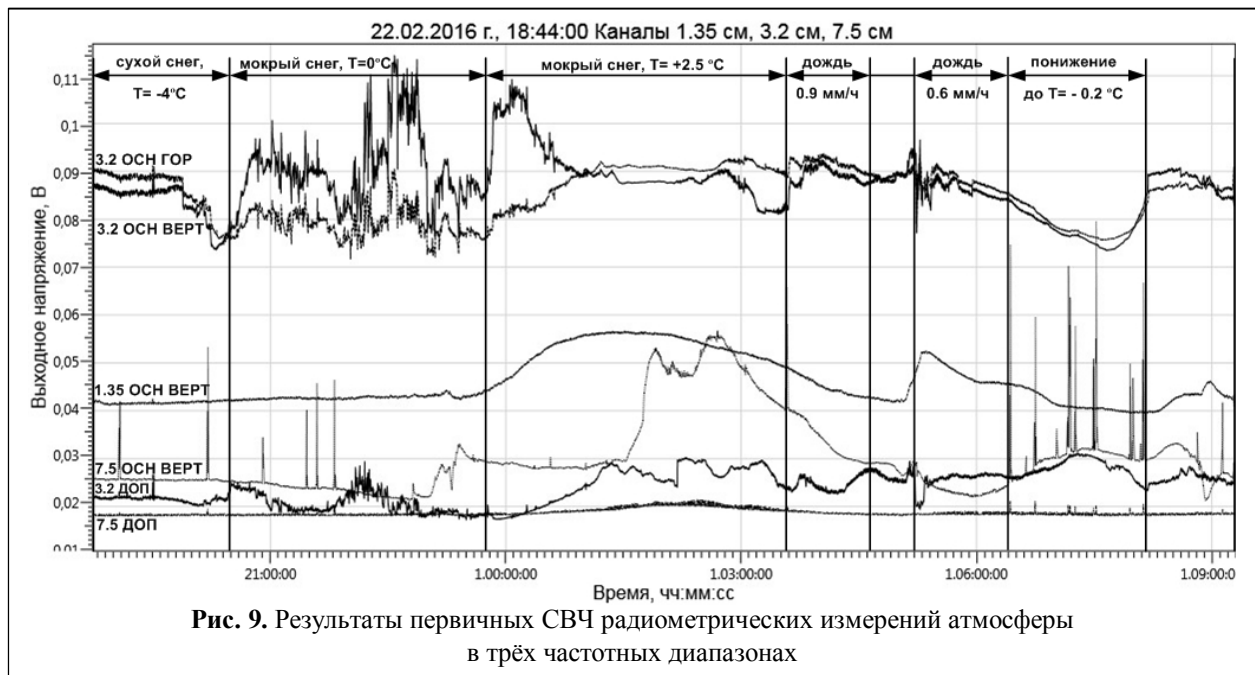


Рис. 9. Результаты первичных СВЧ радиометрических измерений атмосферы в трёх частотных диапазонах

Заключение

В процессе выполнения данной работы была реализована специальная система сбора и обработки данных многочастотной СВЧ радиометрической системы контроля состояния метеобразований с компенсацией фонового шума. Данная система позволяет осуществлять регистрацию данных как первичных измерений интенсивности радиотеплового излучения атмосферы во всех частотных диапазонах, так

и основных метеорологических параметров на позиции установки радиометрической системы. Кроме того, она обеспечивает математическую обработку результатов в процедурах компенсации фонового излучения и калибровки значений выходных сигналов в величинах радиояркостной температуры с возможностью введения корреляционной и регрессионной обработки результатов или экспорта этих данных во внешние математические приложения

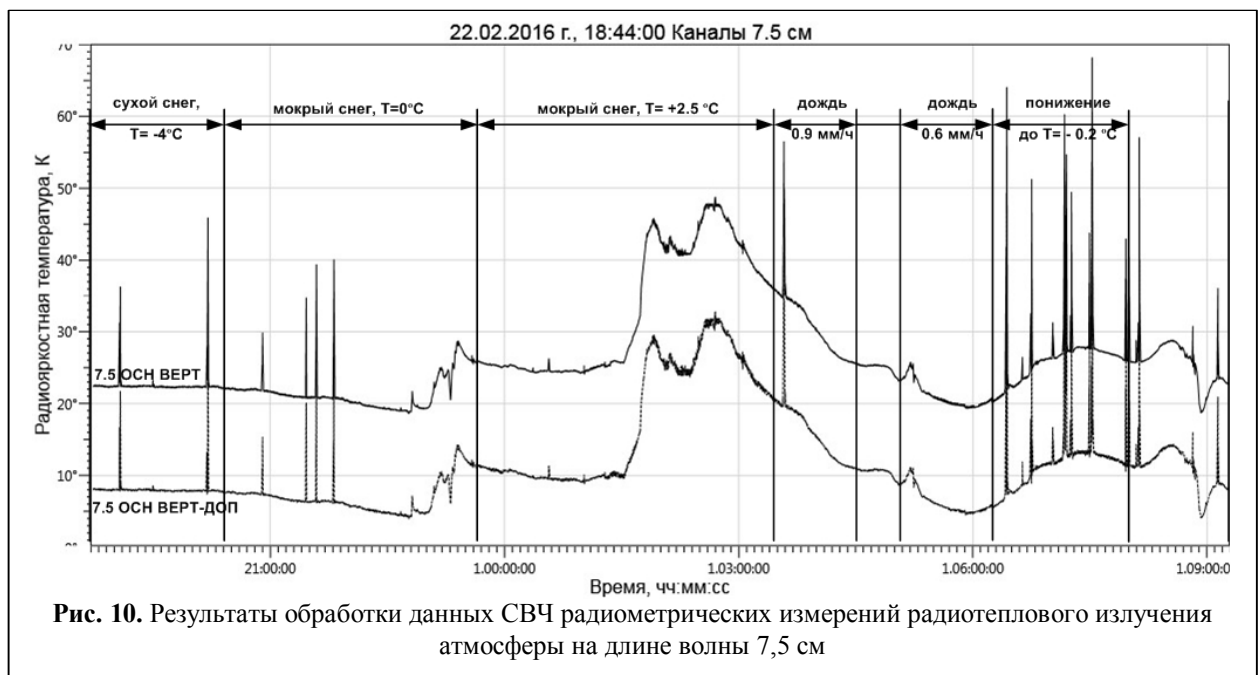


Рис. 10. Результаты обработки данных СВЧ радиометрических измерений радиотеплового излучения атмосферы на длине волны 7,5 см

для решения обратных многопараметрических задач микроволновой радиометрии атмосферы.

В данной работе применена отдельная независимая регистрация данных измерений всех микроволновых каналов, что позволяет скомпенсировать влияние помехового фонового излучения непосредственно в процессе измерения, а также произвести процедуру компенсации влияния фоновых шумов по желанию наблюдателя в постобработке данных в соответствии с алгоритмом, подробно изложенном в работах [9, 10].

Литература

1. Степаненко В.Д., Шукин Г.Г., Бобылев Л.П., Матросов С.Ю. Радиотеплолокация в метеорологии. - Л.: Гидрометеоздат, 1987. - 283 с.
2. Караваев Д.М., Шукин Г.Г. Применение методов СВЧ-радиометрии для диагноза содержания жидкокапельной влаги в облаках // Тр. НИЦ ДЗА. Сер. Прикладная Метеорология. - 2004. - Вып.5 (533). - С.99-120.
3. Ware R.A. A multichannel radiometric profiler of temperature, humidity, and cloud liquid // Radio Science. - 2003. - 38, 4, 8079.
4. A network suitable microwave radiometer for operational monitoring of cloudy atmosphere // t.Rose, et.al. Atmospheric Reseach. - 2005. - p. 183-200.
5. Pranab Kumar Karmakar Ground-Based Microwave Radiometry and Remote Sensing. Methods and Applications, CRC Press 2013. Print ISBN: 978-1-4665-1631-1, eBook ISBN: 978-1-4665-1632-8.
6. Федосеева Е.В. Анализ погрешности измерения радиояркостного контраста методом диаграммной модуляции в системах пассивной тепловой радиолокации // Радиотехнические и телекоммуникационные системы. - 2013. - №1 - С.4 - 9.
7. Федосеева Е.В., Шукин Г.Г. Вопросы метрологического обеспечения радиотеплолокационных измерений в условиях действия внешних шумовых помех: моногр. - Муром: ИПЦ МИ ВлГУ, 2012. - 104 с.
8. Федосеева Е.В. Результаты оценки относительного уровня принимаемой мощности из обла-

Работа выполнена при поддержке РФФИ грант №14-02-97510 р_центр_а.

Поступила 10 января 2017 г.

English

Organizational tasks and principles for data collecting and handling system of multi-frequency microwave radiometric monitoring system of cloud liquid with background noise compensation

Ilya Nikolaevich Rostokin – Candidate of Engineering, Associate Professor, Department of Monitoring and Control in Technical Systems Murom Institute (branch) federal state budgetary ed-

educational institution of higher professional education "Vladimir State University named after Alexander and Nickolay Stoletov".

E-mail: rostockin.ilya@yandex.ru.

Elena Valerjevna Fedoseeva – Doctor of Engineering, Associate Professor, Department of Radio Engineering Murom Institute (branch) "Vladimir State University named after Alexander and Nickolay Stoletov".

E-mail: elenafedoseeva@yandex.ru.

Address: Orlovskaya st., 23, Murom, 602264, Russia.

Georgy Georgievich Schukin – Doctor of Physics and Mathematics, Professor Chief Research Scientist Mozhaisky Military Space Academy.

E-mail: ggshchukin@mail.ru.

Address: 197082, St. Petersburg, Zhdanovskaya, 13.

Elena Anatoljevna Rostokina – Candidate of Engineering, Associate Professor, Department of Department of Monitoring and Control in Engineering Systems Murom Institute (branch) "Vladimir State University named after Alexander and Nickolay Stoletov".

E-mail: elenafedoseeva@yandex.ru.

Address: Orlovskaya st., 23, Murom, 602264, Russia.

Abstract: The article presents measurement data collecting and handling system of the multi-frequency microwave radiometric weather facilities designed for operating control of cloud liquid with background noise compensation. The following main tasks of the system were stated from the perspective of research problems and ambient noise compensation method when forming compensation auxiliary signal in the antenna channel output with reception from the angular area of the corresponding dispersion region of the main antenna channel directional diagram with the subsequent defining the difference between the main signal and the compensation signal: digitizing these measurements, exporting the obtained data into files of various formats, difference algorithm software implementation for ambient noise compensation in each frequency channel, output signal level conversion of the measuring system into radio brightness temperature values with regard to calibration procedure data in each separate channel, implementation of correlation and regression analysis mathematical operations to estimate the meteorological parameters of atmospheric cloud liquid. Three-band microwave radiometric system serves as an example to implement measurement data collecting and handling system, its structural composition is given, functioning terms and conditions are considered, user's interface features of data handling program are examined. Measurement data graphical representation of the winter atmospheric thermal radio radiation in severe weather conditions is given as an example to demonstrate results of the functioning system in question.

Key words: data collecting and handling system, multi-frequency microwave radiometric system, ambient noise compensation.

References

1. Stepanenko V.D., Schukin G.G., Bobyliev L.P., Matrosov S.Yu. Infrared detection in meteorology. - L.: Gidrometeoizdat, 1987. - 283 p.
2. Karavayev D.M., Schukin G.G. Microwave radiometry method application to detect liquid-drop moisture in clouds. -RC ARP Works. Iss. Prikladnaya Meteorologiya. - 2004. - Ed.5 (533). – p. 99-120.
3. Ware R.A. A multichannel radiometric profiler of temperature, humidity, and cloud liquid. - Radio Science. - 2003. - 38, 4, 8079.
4. A network suitable microwave radiometer for operational monitoring of cloudy atmosphere. - t.Rose, et.al. Atmospheric Reseach. - 2005. - p. 183-200.
5. Pranab Kumar Karmakar Ground-Based Microwave Radiometry and Remote Sensing. Methods and Applications, CRC Press 2013. Print ISBN: 978-1-4665-1631-1, eBook ISBN: 978-1-4665-1632-8.
6. Fedoseyeva E.V. Measurement error analysis of radio brightness contrast using diagrammatic modulation in passive thermal radar detection systems. - Radiotekhnicheskiye i telekommunikatsionnye sistemy. - 2013. - No. 1 – p. 4 - 9.
7. Fedoseyeva E.V., Schukin G.G. Metrological support issues for infrared detection measurements amidst external noise: monogr. - Murom: Publ.Dpt. MI VLSU, 2012. - 104 p.

8. Fedoseyeva E.V. Assessment results of received power relative level from the antenna pattern dispersive area in passive thermal radar detection systems. - Radiotekhnicheskiye i telekommunikatsionnye sistemy. - 2012. - No. 3– p. 32 - 38.
9. Fedoseyeva E.V., Schukin G.G., Rostokin I.N., Rostokino E.A. Noise compensation in microwave radiometric system operation. - Radiotekhnicheskiye i telekommunikatsionnye sistemy. - 2014. - No. 1 (13) – P. 50 - 62.
10. Patent for useful model No. 91630 on. in bulletin No. 5 of 20.02.2010. Radiometric system with compensation of additive external background noise. - Fedoseyeva E.V.
11. Rostokin I.N., Fedoseyeva E.V. Development problems of multi-frequency microwave radiometric system for remote sensing the cloudy atmosphere with compensation of background radiation. - Radiotekhnicheskiye i telekommunikatsionnye sistemy. - 2015. - No. 1 - page 5 - 12.
12. Fedoseeva E.V. An Estimate of the Error of Measurements of Radio Brightness Temperature in Radio-Heat Location Systems for Monitoring Meteorological Parameters with Background Noise Compensation. - Measurement Techniques. - March 2015, Vol.57, Issue 12. - pp. 1463-1468.
13. Rostokin I.N., Fedoseyeva E.V. Antenna assembly research of three-band microwave - radiometric system for atmospheric remote sensing with background radiation compensation. - Radiotekhnicheskiye i telekommunikatsionnye sistemy. - 2015. - No. 3. – P. 94 - 100.
14. Fedoseeva E.V., Rostokin I.N., Schukin G.G. The study of polarimetric properties microwave radiometric system atmospheric sounding background noise compensation. - 2015 International Siberian Conference on Control and Communications (SIBCON). Proceedings. - Omsk: Omsk State Technical University. Russia, Omsk, May 21-23, 2015. IEEE Catalog Number: CFP15794-CDR. ISBN: 978-1-4799-7102-2.
15. Fedoseeva E.V., Rostokin I.N., Fedoseev A.A. Research mode dual-band antenna splitter dual-channel microwave radiometric system with compensation of background noise. - 2015 International Siberian Conference on Control and Communications (SIBCON). Proceedings. - Omsk: Omsk State Technical University. Russia, Omsk, May 21-23, 2015. IEEE Catalog Number: CFP15794-CDR. ISBN: 978-1-4799-7102-2.