

Дистанционное зондирование сред

УДК 621.396.96:504.064

КОНТРОЛЬНО-ИЗМЕРИТЕЛЬНАЯ СИСТЕМА ЭКОЛОГО-МЕТЕОРОЛОГИЧЕСКОГО МОНИТОРИНГА: ПОЛУЧЕНИЕ, ОБРАБОТКА И ПРЕДСТАВЛЕНИЕ ДАННЫХ

Булкин Владислав Венедиктович

доктор технических наук, профессор кафедры техносферной безопасности Муромского института (филиала) ФГБОУ ВПО "Владимирский государственный университет имени Александра Григорьевича и Николая Григорьевича Столетовых".

E-mail: lwb@mivlgu.ru.

Адрес: 602264, г. Муром, ул. Орловская, д. 23.

Кириллов Иван Николаевич

инженер открытого акционерного общества «Муромский завод радиоизмерительных приборов».

Адрес: 602267, г. Муром, Карачаровское шоссе, 2.

Аннотация: В статье рассматривается система эколого-метеорологического мониторинга акустического загрязнения локальной урбанизированной территории, обеспечивающая контроль загрязнений и прогнозирование характера их распространения в данной локальной зоне. Рассмотрена функциональная схема системы, включающая канал получения информации о самом акустическом шуме (измерительный канал), канал получения метеорологической информации (корректирующий канал), систему позиционирования и вычислительное устройство. Метеорологическая информация включает данные о температуре, влажности и давлении в воздушной среде, а также о скорости и направлении ветра. Для организации распределённой сети мониторинга предусмотрен приёмопередающий модуль, обеспечивающий обмен информацией с центральным сервером.

Ключевые слова: анализатор спектра, метеорологические параметры, процессор, акустический шум, коэффициент затухания.

Введение

Построение систем мониторинга окружающей среды невозможно без использования радиоэлектронных контрольно - измерительных средств (КИС). Их применение позволяет эффективно решать задачи получения, обработки, хранения и передачи информации, её визуализации. Это определяет их широкое применение в прикладных системах, таких, как защита среды обитания, обеспечение безопасности и т.д.

Среди главных экологических опасностей большого города треть по важности место занимает акустическое загрязнение. Многочисленные исследования показывают, что акустический шум оказывает существенное неблагоприятное воздействие на психологическое и биологическое здоровье человека, состояние социальной среды [1,2]. В силу указанных причин создание систем мониторинга акустического загрязнения на селитебных территориях является актуальной задачей.

В статье рассматривается контрольно-измерительная система эколого - метеорологического мониторинга локальной урбанизированной территории, обеспечивающая контроль акустических загрязнений и прогнозирование характера их распространения в данной локальной зоне.

Постановка задачи

Проведение экологического мониторинга подразумевает реализацию двух основных его составляющих – наблюдения и контроля. В соответствии с положениями ГОСТ Р 22.1.02-95 под наблюдением понимается определение параметров, характеризующих состояние окружающей среды, а под контролем – сопоставление полученных данных с установленными критериями.

Исходя из этого, можно сделать вывод: любая мониторинговая КИС должна содержать такие основные элементы, как измерительный канал (или каналы при контроле совокупности пара-

метров) и систему анализа полученных данных. Кроме того, такая система может содержать ряд других компонентов, определяемых особенностями самой системы мониторинга.

Применительно к рассматриваемой системе мониторинга акустического загрязнения селитебных территорий, очевидно, что измерение уровня шума обеспечивается измерительным каналом, реализованным на принципе приёма, усиления и соответствующей обработки акустического сигнала.

Для правильной оценки действительного уровня шума и его возможного влияния на окружающую среду очень важно с высокой долей вероятности определить уровень затухания звука на местности, поскольку это обеспечит возможность выработки прогноза распространения его вглубь селитебных территорий.

Затухание звука чистого тона в свободном пространстве (атмосфере) характеризуется коэффициентом затухания, зависимым не только от факторов окружающей среды, но и от физических характеристик шума. Существенное влияние оказывает звукопоглощение, определяемое атмосферными условиями A_{atm} .

Оценить это влияние можно по изменению коэффициента затухания α

$$A_{amm} = \alpha \cdot d, \quad (1)$$

где d – расстояние.

Затухание звука чистого тона при распространении на местности определяется по формуле:

$$\alpha = 8,686 \cdot f^2 \left\{ \begin{array}{l} \left[1,84 \cdot 10^{-11} \cdot \left(\frac{P_a}{P_r} \right)^{-1} \left(\frac{T}{T_0} \right)^{\frac{1}{2}} + \left(\frac{T}{T_0} \right)^{\frac{5}{2}} \right] \cdot \\ \left[0,01275 \left[\exp\left(\frac{-2239,1}{T} \right) \right] \cdot \left[F_{r0} + \left(\frac{f^2}{F_{r0}} \right)^{-1} \right] + \right. \\ \left. + 0,1068 \left[\exp\left(\frac{-3352,0}{T} \right) \right] \cdot \left[F_{rN} + \left(\frac{f^2}{F_{rN}} \right)^{-1} \right] \right] \end{array} \right\} \quad (2)$$

где f – частота звука чистого тона, Гц; $P_r = 101,325$ кПа – эталонное (стандартное) атмосферное давление; P_a – атмосферное давление, кПа; T – температура воздуха, К; $T_0 = 293,15$ К – эталонная температура воздуха; F_r – релаксационная частота, Гц (0 и N – индексы, обозначающие, соответственно, кислород и азот).

Анализ (2) показывает, что метеорологические параметры, такие, как температура возду-

ха, атмосферное давление и относительная влажность воздуха (входит в формулу (2) через F_r) оказывают влияние на коэффициент затухания α , следовательно, их значения должны быть учтены при обработке данных.

Таким образом, с учётом перечисленных и других внешних факторов, в целом зависимость коэффициента затухания звука в атмосфере от внешних условий можно представить следующим образом

$$\alpha = \Phi_n(\vec{I}_n, \vec{T}_n, \vec{H}_n, \vec{P}_n, \vec{V}_n) + S, \quad (3)$$

где $\Phi_n(\vec{I}_n, \vec{T}_n, \vec{H}_n, \vec{P}_n, \vec{V}_n)$ – фактор коэффициента затухания звука в атмосфере; \vec{I}_n – вектор параметров звука, $\vec{I}_n = \{F, A\}$, F – частота, A – амплитуда (мощность) сигнала; \vec{T}_n – вектор параметра температуры воздуха; \vec{H}_n – вектор параметра влажности воздуха; \vec{P}_n – вектор параметра атмосферного давления; \vec{V}_n – вектор параметров ветра $\vec{V}_n = \{N, c\}$, N – направление ветра, c – скорость ветра; S – параметр среды (особенности местности, здания, растительные насаждения).

Оценка влияния метеорологических параметров на распространение звука в среде была дана в [3,4] посредством моделирования. При этом учитывались три основных параметра: температура, влажность и давление. Анализ проводился без учёта влияния стационарных параметров среды (экраны, поглотители и пр.), а так же без учёта влияния вектора параметров ветра \vec{V}_n . По результатам моделирования можно сделать вывод, что наибольшее влияние на затухание сигнала оказывает изменение температуры окружающей среды: изменении параметра \vec{T}_n в пределах от -20 °С до $+30$ °С приводит к изменению A_{amm} , например, на частотах 2000, 4000 и 10000 Гц, соответственно, от 10 до 30 дБ/км, от 25 до 65 дБ/км, от 30 дБ/км до 200 дБ/км.

Таким образом, система должна строиться на совмещении двух видов информации: экологической, характеризующей саму шумовую обстановку, и метеорологической. Метеорологическая информация включает данные о температуре окружающей среды, влажности и

давлении в воздушной среде, а также о скорости и направлении ветра. Для получения данных о параметрах ветра используется принцип активной локации, т.е. излучению зондирующего сигнала, приёме сигнала отражённого и соответствующей его обработке. Кроме того, должны быть учтены и конкретные условия географического расположения точки контроля, а также предусмотрена возможность передачи информации на базовый сервер [1].

Функциональная схема системы представлена на рис. 1. Получение информации о характеристиках акустического шума обеспечивает измерительный канал, корректирующий канал решает задачи сбора метеорологических данных, учёт условий географического расположения точки контроля осуществляет позиционирующий канал. Обработку получаемой информации и управление работой системы обеспечивает вычислительное устройство управления, связь с сервером и передачу полученной информации реализует приёмопередающий модуль.

С учётом разнообразных факторов, влияющих на качество работы системы, введены три группы параметров [5]: G - вектор параметров обстановки, $G = \{a_1, a_2, \dots, a_\mu\}$; I - вектор информационных параметров, $I = \{b_1, b_2, \dots, b_m\}$; E - вектор мешающих (неинформативных) параметров, $E = \{\varepsilon_1, \varepsilon_2, \dots, \varepsilon_\nu\}$.

Выходные сигналы каналов системы могут быть представлены в виде:

$$Y_n = \Phi_1(\vec{I}_n, \vec{G}_n, \vec{E}_n, t) + \xi_t, \quad (4)$$

$$Y_a = \Phi_2(\vec{I}_a, \vec{G}_a, \vec{E}_a, t) + \xi_t, \quad (5)$$

$$Y_T = \Phi_3(\vec{G}_T, \vec{E}_T, t) + \xi_t, \quad (6)$$

где $\Phi_1(\vec{I}_n, \vec{G}_n, \vec{E}_n, t)$ - сигнал, пропорциональный средней мощности принятого акустического сигнала;

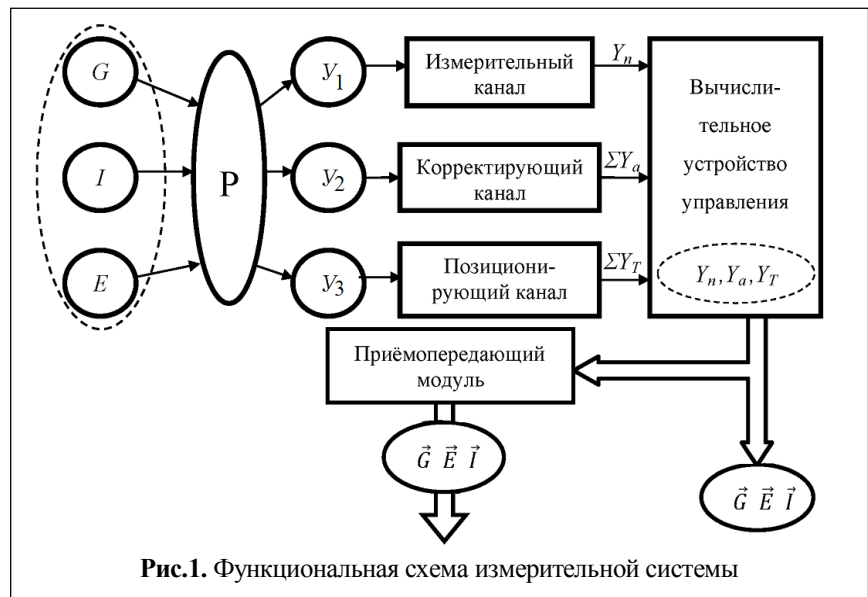


Рис.1. Функциональная схема измерительной системы

$\Phi_2(\vec{I}_a, \vec{G}_a, \vec{E}_a, t)$ - сигнал, пропорциональный среднему значению амплитуды принимаемого сигнала акустолокатора; $\Phi_3(\vec{G}_T, \vec{E}_T, t)$ - совокупность сигналов, соответствующая группе параметров обстановки; ξ - мешающий шум; t - время. P - оператор, устанавливающий функциональную связь между векторами G, I, E , и сигналами Y_a, Y_n и Y_T , поступающими на вход измерителей.

Особенности реализации каналов измерения

При реализации измерительного канала была выбрана схема, отличающаяся от схемы стандартного шумомера, представляющего собой микрофонный датчик и вольтметр с фильтрами долеоктавных полос и индикатором, отградуированным в децибелах.

При разработке схемы учитывалось то, что частоты реальных акустических шумов могут не совпадать со стандартными значениями средневзвешенных частот октавных диапазонов ряда R10 (ГОСТ Р 53188.1-2008), что приводит к занижению измеренного уровня шума в сравнении с действительным. Как показал анализ спектрограмм уличного шума, в таких случаях разница между амплитудой всплеска и средним значением, которую не зафиксирует шумомер, составляет порядка 20 дБ [6].

Главное достоинство применённой схемы в сравнении со стандартной схемой измерения шумомером заключается в том, что переход от амплитудно-временной характеристики к ам-

плитудно-частотной реализуется на аппаратном уровне алгоритмом быстрого преобразования Фурье (БПФ). Использование БПФ даёт возможность наблюдать и отслеживать не средние значения в заданной полосе частот, как это и происходит в стандартных шумомерах, а узкополосные амплитудные всплески на различных частотах, зачастую находящихся на краях октавного диапазона. Кроме того, рассматриваемый измерительный канал позволяет с большей, чем в стандартной схеме, точностью определить значения частоты и амплитуды пиков.

В измерительном канале применён конденсаторный микрофон МРА-216. Подробно схема канала рассмотрена в [7].

Корректирующий канал состоит из двух измерительных трактов: тракта для измерения состояния среды и тракта для измерения параметров движения воздушных масс (анеморумбометр).

Измерительный тракт состояния среды состоит из набора датчиков и обеспечивает канал информацией о температуре и влажности воздуха, атмосферного давления. Измерительные датчики передают информацию на центральный процессор для измерения и последующей обработки.

Для измерения скорости ветра применяется система, состоящая из нескольких ультразвуковых элементов. Каждый элемент последовательно выполняет функции излучателя и приёмника. Сигнал излучается, принимается приёмниками и осуществляется сложение векторов профилей составляющих скорости ветра. Затем функции излучателя передаются другому элементу антенны. Определение скорости и направления ветра производится сравнением времени прохождения излучаемого сигнала от излучателя до приёмников во всех направлениях.

При создании макета КИС в качестве основы корректирующего канала была использована ультразвуковая метеостанция WXT520 Vaisala. Подробно схема канала и принцип работы рассмотрены в [8].

Позиционирование системы может осуществляться любым из известных способов: посредством спутниковых технологий навигации (GPS, ГЛОНАСС), технологий локального позиционирования (инфракрасных и ультра-

звуковых), использованием радиочастотных меток RFID и т.д., и в данной статье не рассматривается.

К настоящему моменту построение канала рассмотрено на общетеоретическом уровне [8] без отработки макета. Работы в данном направлении планируются.

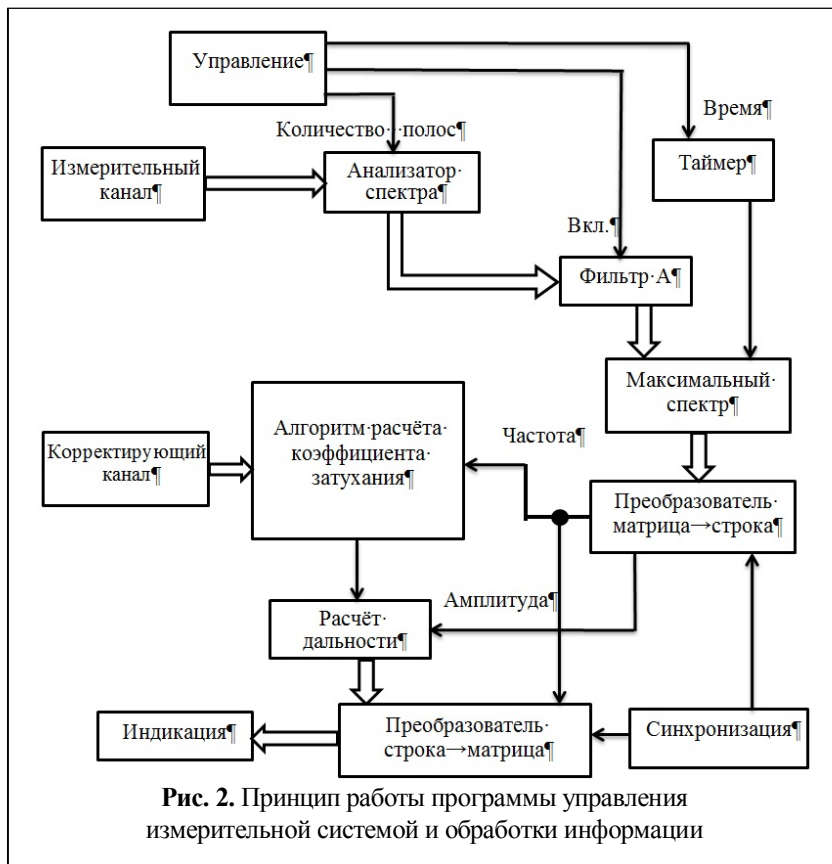
Выполнена часть работ по формированию приёмопередающего модуля, в частности, отработан макет усилителя мощности. Усилитель выполнен по LDMOS технологии, рабочий диапазон частот - 433,050-434,790 МГц, мощность - до 13 Вт. Проведена экспериментальная проверка действующего макета усилителя [9].

Вычислительное устройство управления

Сопряжение каналов получения информации и вычислительного устройства осуществляется с использованием принципа, отработанного для многоканальных систем мониторинга, рассмотренного в [10]. Принцип работы программы обработки информации и управления измерительной системой отображён на рис. 2.

Поток данных с измерительного канала попадает на анализатор спектра, в котором происходит преобразование сигнала путём перехода от амплитудно-временной к амплитудно-частотной характеристике. Возможность выбора спектрального разрешения осуществляется пользователем путём задания N количества полос во всём звуковом спектре. Таким образом, для спектрального разрешения в 10 Гц с верхней границей 10 кГц, число N будет равняться 1000. Далее поток данных, в зависимости от назначения пользователя, может пропускаться через цифровой фильтр «А» с амплитудно-частотной характеристикой, соответствующей особенностям восприятия человеком звуков разных частот. После этого алгоритмом обнаружения и вычисления максимального спектра за заданный пользователем интервал времени происходит измерение и фиксация мгновенного спектра.

Из потока данных корректирующего канала формируется информация о влажности, давлении, температуре атмосферного воздуха и параметрах ветра. После присвоения метеорологическим параметрам соответствующих переменных, данные попадают в программу расчёта коэффициента затухания.



10 Гц, то строка с информацией о частоте будет иметь вид 10; 20; 30; 40;... ; 1000, причём данные значения выдаются поэлементно. Когда на входе блока расчёта коэффициента затухания появилась информация о частоте, влажности, давлении, температуре атмосферного воздуха, алгоритм производит вычисления коэффициента затухания звука при реальных условиях состояния среды. Расчёт дальности распространения звука d производится с использованием данных об амплитуде звука на данной частоте и коэффициента затухания звука в атмосфере.

Далее информация о дальности распространения звука добавляется в таблицу (матрицу) поэлементно. Затем, после того, как таблица с информацией о дальности распространения звука в атмосфере (зоне

поражения) будет заполнена, данные отображаются в виде графика.

После того, как за заданный промежуток времени произошла фиксация максимального спектра, данные с амплитудно-частотной информацией в виде таблицы (матрицы) преобразовываются поэлементно в две строки, одна из которых содержит информацию о частоте, другая - информацию об амплитуде. Это означает, что если спектральное разрешение равно

поражения) будет заполнена, данные отображаются в виде графика.

Программа управления разработана с использованием программного пакета ZETView, относящегося к SCADA системам и представляющего собой высокоэффективную среду графического программирования для систем сбора и обработки данных от устройств, под-



ключенных к персональному компьютеру.

Анализ данных позволяет дать оценку коэффициента затухания (1) и получить прогноз возможного распространения шума вглубь селитебной зоны с учётом зафиксированных показателей, соответствующих конкретной территории и конкретным условиям.

Внешний вид интерфейса программы управления и измерения показан на рис.3.

Заключение

Эколого-метеорологическая контрольно - измерительная система предназначена для решения задачи получения информации об уровне акустического загрязнения городских территорий и выработки прогноза распространения этого шума вглубь жилой территории. Проведённое макетирование системы и проверка её в реальных условиях городской среды показывают, что учёт метеорологических параметров обеспечивает более точное прогнозирование дальности распространения акустического сигнала. Система обработки данных благодаря применению алгоритма быстрого преобразования Фурье позволяет получить полный, а не октавный, как в современных шумомерах, спектр контролируемого шума, что обеспечивает полное представление о его характере и позволяет осуществить более точное прогнозирование его распространения.

Литература

1. Булкин В.В., Соловьёв Л.П., Шарапов Р.В., Первушин Р.В., Кириллов И.Н. Проблемы построения систем мониторинга акустического загрязнения селитебных зон / Машиностроение и безопасность жизнедеятельности. 2014, №1(19). – С.48-53.

2. Соловьёв Л.П., Булкин В.В., Шарапов Р.В.

Работа выполнена при поддержке грантов РФФИ 14-08-00186 и 12-08-43134.

Поступила 10 июля 2015 г.

Существование человека в рамках техносферы / Машиностроение и безопасность жизнедеятельности. 2012, №1(11). - С. 31-39.

3. Булкин В.В., Кириллов И.Н. Оценка влияния метеорологических параметров на дальность распространения акустического загрязнения в селитебных зонах / Машиностроение и безопасность жизнедеятельности. 2014, №1(19). – С. 5-9.

4. Булкин В.В., Кириллов И.Н. Принципы построения систем контроля акустического загрязнения урбанизированной среды / Современная наука: актуальные проблемы и перспективы развития: монография. Книга 5 / Под ред. проф. Н. А. Тарасенко. –Ставрополь: Логос, 2015. – С. 105-127.

5. Булкин В.В. Акустолокационные измерительные средства систем управления воздушным движением: эффективность функционирования и направление оптимизации / Приборы и системы: управление, контроль, диагностика. 2006. -№9. -С. 51-55.

6. Булкин В.В., Кириллов И.Н. Анализ возможного распространения акустического загрязнения в селитебных зонах / Методы и устройства передачи и обработки информации, 2014, Вып.16. – С. 35-40.

7. Булкин В.В., Кириллов И.Н., Беляев В.Е. Пассивный канал пассивно-активной системы мониторинга урбанизированного пространства / Радиотехнические и телекоммуникационные системы, №4, 2012. – С. 47-51.

8. Булкин В.В., Кириллов И.Н. Пассивно-активная система мониторинга акустического загрязнения локальной урбанизированной территории / Радиотехнические и телекоммуникационные системы, №4, 2014. – С. 48-55.

9. Кириллов И.Н. Усилитель мощности СВЧ на основе полевых LDMOS транзисторов нового поколения / Радиотехнические и телекоммуникационные системы, №4, 2013. – С. 18-22.

10. Костров В.В., Чекушкин В.В., Булкин В.В. Сопряжение пассивно-активного радиолокатора с персональным компьютером / Измерительная техника, №6, 2000. - С. 50-52.

English

Control and measuring system of invironmental&meteorological monitoring: receiving, processing and presenting data

Vladislav Venediktovich Bulkin – Doctor of Technical Science, Professor Department of Technosphere Safety Murom Institute (branch) “Vladimir State University named after Alexander and Nickolay Stoletov”.

E-mail: lwb@mivlgu.ru.

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

Ivan Nikolaevich Kirillov – Engineer "Murom Plant of Radio Measuring Instruments" (Apparatuses) open joint stock company.

Address: 602267, Vladimir region, Murom, Karacharovskoye Highway, 2.

Abstract: The article deals with system of environmental&meteorological monitoring of acoustic contamination of localized urbanized terrain providing contamination control and forecasting their outspread in this localized area. System functional diagram which activates information gaining channel about acoustic noise itself (measuring channel), meteorological information gaining channel (error-correcting channel), positioning control system and computing device are examined here. Meteorological information includes temperature, humidity and pressure data in air environment, as well as about wind speed and direction. Transmit-receive module to ensure information exchange with central server is provided for wide-area network monitoring arrangement. Acoustic signal processing involves spectrum analysis which is carried out on the basis of fast Fourier transform algorithm in measuring channel design. Thus, narrow-band amplitude bursts are recorded on various frequencies instead of average amplitude values. Active channel is used for wind data retrieval implemented on the principle of active acoustic location. Ultrasonic meteorological station WXT520 Vaisala is used for channel implementation. System control program is developed using ZETView software package referring to SCADA systems. Possibility of acoustic noise assessment is available via digital filter "A" with the amplitude-frequency characteristic corresponding to human perception features of different frequency sounds. Spectral resolution option is made by user by setting N bands quantity in all sound spectrum. Measurement and fixation of instantaneous spectrum occurs within the interval set by user. Calculation of attenuation coefficient and forecast of noise propagation into residential area are performed according to local meteorological parameters. Interface of system control program and data handling is developed. The power amplifier executed under LDMOS technology is developed for the transeiving module.

Key words: spectrum analyser, meteorological parameters, processor, acoustic noise, attenuation coefficient.

References

1. Bulkin V.V., Solovyov L.P., Sharapov R.V., Pervushin R.V., Kirillov I.N. Development problems in monitor systems for acoustic noise contamination in settlement zones / *Mashinostroyeniye i bezopasnost zhiznedeyatelnosti*. 2014, No. 1(19). – P.48-53.
2. Solovyov L.P., Bulkin V.V., Sharapov R.V. Human life within technosphere / *Mashinostroyeniye i bezopasnost zhiznedeyatelnosti*. 2012, No. 1(11). – P. 31-39.
3. Bulkin V.V., Kirillov I.N. Effect assessment of meteorological parameters on propagation range of acoustic noise contamination pollution in settlement zones / *Mashinostroyeniye i bezopasnost zhiznedeyatelnosti*. 2014, No. 1(19). – P. 5-9.
4. Bulkin V.V., Kirillov I.N. Development principles of monitoring systems for acoustic noise contamination in urbanized environment / *Sovremennaya nauka: aktualnye problemy i perspektivy razvitiya: monografiya*. Book 5 / Ed. by prof. N.A. Tarasenko. - Stavropol: Logos, 2015. – P. 105-127.
5. Bulkin V.V. Acoustic location measuring instruments of air traffic control systems: operation efficiency and optimization approach / *Pribory i sistemy: upravleniye, kontrol, diagnostika*. 2006.-№9. – P. 51-55.
6. Bulkin V.V., Kirillov I.N. Analysis of probable propogation of acoustic noise contamination in settlement zones / *Metody i ustroystva peredachi i obrabotki informatsii*, 2014, Vyp.16. – P. 35-40.
7. Bulkin V.V., Kirillov I.N., Belyaev V. E. Passive channel of passive & active monitoring system of urbanized area / *Radiotekhnicheskiye i telekommunikatsionnye sistemy*, No. 4, 2012. – P. 47-51.
8. Bulkin V.V., Kirillov I.N. Passive & active monitoring system of acoustic contamination in local urbanized territory / *Radiotekhnicheskiye i telekommunikatsionnye sistemy*, No. 4, 2014. – P. 48-55.
9. Kirillov I.N. Microwave power amplifier based on new generation LDMOS field transistors / *Radiotekhnicheskiye i telekommunikatsionnye sistemy*, No. 4, 2013. – P. 18-22.
10. Kostrov V.V., Chekushkin V.V., Bulkin V.V. Integration of passive & active radar with personal computer / *Izmeritelnaya tekhnika* No. 6, 2000, P.50-52.