

УДК 623.4

И. М. Плаксин, А. В. Фомичев, Б. В. Чувькин

РАЗРАБОТКА ПЕРСПЕКТИВНОЙ ИНТЕЛЛЕКТУАЛЬНОЙ СИСТЕМЫ ПОВЫШЕНИЯ БЕЗОПАСНОСТИ ДУЛЬНОЗАРЯДНОГО МИНОМЕТА

I. M. Plaksin, A. V. Fomichev, B. V. Chuvykin

DEVELOPMENT OF PERSPECTIVE INTELLECTUAL SYSTEM OF THE SAFETY INCREASE OF THE MUZZLE-LOADING MORTAR

А н н о т а ц и я. Описана одна из основных проблем эксплуатации дульнозарядного миномета – «двойное зарядание». Предложено решение этой проблемы в виде разработки системы – электронного предохранителя, который контролирует множество состояний миномета на предмет зарядания и перегрева ствола. Приведено подробное описание разработанной интеллектуальной системы с анализом выбора современной компонентной базы.

A b s t r a c t. In paper one of the main problems of maintenance of a muzzle-loading mortar – «a double charging» is presented, and also solution of this problem in the form of system development – an electronic safeguard who inspects assemblage of states of a mortar about a charging and fulcrum excessive heating is offered. The detailed exposition of the developed intellectual system with analysis of sampling of an up-to-date component base is resulted.

К л ю ч е в ы е с л о в а: дульнозарядный миномет, двойное зарядание, предохранитель, интеллектуальная система, сигнализация, микроконтроллер, безопасность, эргономика.

К e y w o r d s: muzzle-loading mortar, double charging, safeguard, intellectual system, signaling, the microcontroller, safety, human engineering.

Одной из важнейших проблем эксплуатации дульнозарядных минометов (ДЗМ) является опасность преждевременного разрыва мин, который может привести к гибели людей и повреждению техники. Существует вероятность осечки мины, слабого накола капсюля первой мины, затяжного выстрела или недохода мины до бойка из-за загрязнения канала ствола, корпуса мины или попадания в канал ствола посторонних предметов, другими словами, мина не покидает ствола миномета. Единственным способом определить, произошел вылет мины или нет, до создания интеллектуальной системы повышения безопасности дульнозарядного миномета (ИСПБМ) была естественная звуковая сигнализация при вылете мины, но могут возникнуть ситуации, когда не представляется возможным определить с безопасного расстояния, произошел вылет мины или нет, например, при интенсивной стрельбе с нескольких близко-расположенных огневых позиций. Такая ситуация может привести к попытке повторного зарядания мины в ствол миномета, где уже имеется мина. Подобная попытка повлечет за собой повреждение детонатора мины, с которой произошла осечка, что в свою очередь может привести к детонации обоих снарядов. Помимо этого, наиболее распространенного, сценария, может возникнуть другой, где детонация мины происходит за счет перегрева ствола миномета (выше 200 °С) при интенсивной стрельбе.

Единственным существующим на текущий момент способом защиты от повторного зарядания является механический предохранитель, где лопатка, препятствующая повторному заряданию, захлопывается при введении мины в ствол миномета или вручную. Послать в ствол вторую мину вслед за первой препятствует лопатка предохранителя, которая при выстреле утапливается обгоняющими мину пороховыми газами, истекающими через кольцевой

зазор между поверхностью канала ствола и центрующим утолщением мины. Механический предохранитель при эксплуатации подвергается постоянным механическим и температурным воздействиям. У него есть свои преимущества: невозможность физически произвести повторное зарядание до вылета первой мины и отсутствие элементов питания, требующих регулярной подзарядки. Недостатки данного предохранителя – большой вес, отсутствие сигнализации на безопасном расстоянии, отсутствие контроля перегрева ствола. Таким образом, разработка электронного предохранителя – актуальная задача, требующая применения современных решений и новейшей компонентной базы. В отличие от механического предохранителя электронный не будет подвергаться столь жестким условиям эксплуатации (не будет непосредственного механического воздействия, воздействия пороховых газов), а значит, ресурс работы электронного предохранителя будет выше.

Целью разработки интеллектуальной системы повышения безопасности дульнозарядного миномета является повышение безопасности эксплуатации дульнозарядных минометов за счет создания электронного интеллектуального предохранителя от двойного зарядания с возможностями бесконтактного контроля наличия мины в стволе и контроля температуры ствола. Предполагается, что ИСПБМ существенно повысит безопасность эксплуатации дульнозарядного миномета за счет интуитивно понятной дистанционной сигнализации.

Рассмотрим концепцию построения современной ИСПБМ для минометного расчета, реализованную в ОАО НИИФИ. Необходимо учесть, что важнейшими преимуществами миномета перед другими видами артиллерийского вооружения являются простота эксплуатации, дешевизна и мобильность. Для начала обозначим общие требования к системе:

- 1) наличие максимально возможной, но не избыточной сигнализации о наличии мины в стволе и о перегреве ствола;
- 2) возможность удаленного мониторинга состояния миномета;
- 3) невысокая стоимость для массового применения;
- 4) минимизация размеров и массы элементов для повышения мобильности;
- 5) длительная работа без подзарядки или смены элементов питания.

На основе анализа приведенных требований, рынка современных технологий, конструктивных и эргономических аспектов разрабатываемой системы была создана следующая концепция: ИСПБМ представляет собой интеллектуальную беспроводную автономную сеть, состоящую из блока управления (БУ) и удаленных индикаторов (УИ). БУ осуществляет контроль заряда/разряда миномета, контроль перегрева ствола, принимает решение о переходе системы в различные состояния и расположен непосредственно на миномете. Компактные УИ оповещают о текущем состоянии миномета и системы каждого члена минометного расчета индивидуально. Сигнализация о текущем состоянии осуществляется следующим образом: на БУ расположены световые индикаторы, и комбинации этих световых индикаторов отражают соответствующее состояние миномета и системы; на УИ имеются динамики, меняющие воспроизводимые звуковые сигналы в зависимости от состояния миномета и системы. Выбранные методы сигнализации являются эргономичными и конструктивно оптимальными, а введение дополнительных методов приведет к избыточности. Например, звуковая сигнализация на БУ является малоинформативной в боевых условиях (при высокой зашумленности) и ненадежной при применении в полевых условиях, так как защитить динамики при жестких условиях эксплуатации БУ было бы весьма накладно, а световая индикация на УИ неинформативна, так как УИ располагается на шлемовой гарнитуре члена минометного расчета и находится вне его поля зрения (рис. 1).

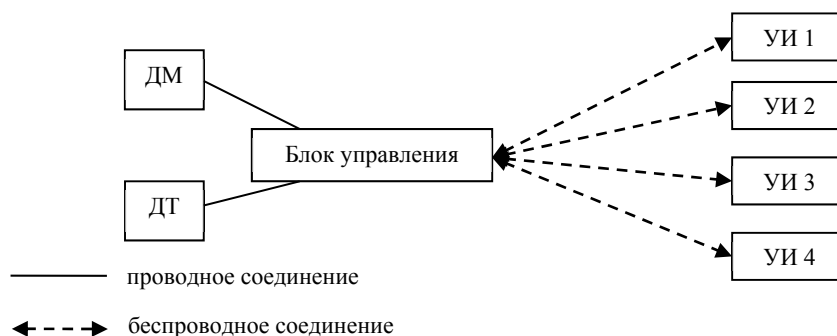


Рис. 1. Структура интеллектуальной системы повышения безопасности миномета

Для выполнения поставленной задачи необходимо применение как минимум двух датчиков: датчика заряда/вылета мины (ДМ) и датчика температуры (ДТ) ствола. В качестве температурного датчика наиболее оптимальным решением является применение терморезистора, защищенного от внешних воздействий прочным кожухом.

В качестве датчика зарядки/вылета мины можно использовать простой индуктивный датчик с многовитковой катушкой, так как мины обычно выполнены из ферромагнитных материалов.

Индуктивные датчики служат для бесконтактного получения информации о перемещениях рабочих органов машин, механизмов, роботов и т.п. и преобразования этой информации в электрический сигнал. Принцип действия индуктивного датчика основан на изменении индуктивности обмотки на магнитопроводе в зависимости от положения отдельных элементов магнитопровода (якоря, сердечника и др.). В таких датчиках линейное или угловое перемещение X (входная величина) преобразуется в изменение индуктивности (L) датчика. Индуктивный датчик не требует механического воздействия, работает бесконтактно за счет изменения электромагнитного поля. Таким образом, можно выделить следующие преимущества использования индуктивного датчика в качестве ДМ:

- нет механического износа, отсутствуют отказы, связанные с состоянием контактов;
- отсутствуютдребезг контактов и ложные срабатывания;
- высокая частота переключений до 3000 Hz;
- устойчив к механическим воздействиям.

В многовитковую катушку подается опорное напряжение с ЦАП с заданным значением (средний уровень), которое на другом конце катушки снимается АЦП.

Для усиления магнитного поля дополнительно используются сильные постоянные магниты, размещенные по окружности. Общая схема ДМ представлена на рис. 2. Использование такой простой конструкции объясняется тем, что нам нет необходимости в точном измерении параметров перемещения мины, а необходимо зафиксировать только сам факт ее прохождения через катушку (заряда/вылета). Это позволяет не обращать внимания на температурную нестабильность индуктивности, паразитную емкость катушки, активное сопротивление цепи и прочие характеристики.

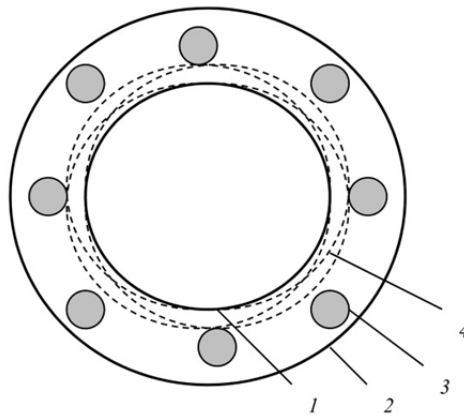


Рис. 2. Схема датчика мины:

1 – внутренняя стенка корпуса; 2 – внешняя стенка корпуса;
3 – постоянные магниты; 4 – намотка катушки

При прохождении мины в магнитном поле катушки и постоянных магнитов ее ферритовые части намагничиваются (как у любого магнита, у мины появляются два полюса). Вокруг самой мины образуется магнитное поле. При дальнейшем движении меняется как сама намагниченность мины, так и магнитный поток, проходящий через катушку. Вследствие этого по закону Лоренца при воздействии переменного магнитного поля в катушке возбуждается ЭДС. Направления ЭДС и напряжения в катушке при прохождении первого полюса (у мины со сплошным ферритовым корпусом) всегда совпадают (так как мина намагничивается в соответствии с направлением магнитного поля катушки) и ориентированы в противоположную сторону при прохождении второго полюса (рис. 3).

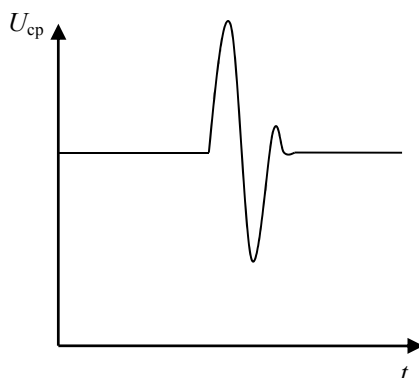


Рис. 3. Сигнал с датчика мины при прохождении мины

При движении феррита (мины) изменяются магнитное сопротивление потоку и распределение магнитных силовых линий поля катушки. Следовательно, каждому положению феррита соответствует вполне определенная картина поля, и провести расчет величины ЭДС, возникающей при движении мины, – достаточно тяжелая задача, в решении которой нет необходимости.

Таким образом, выходной сигнал с ДМ в момент заряда/разряда представляет собой суперпозицию опорного напряжения и ЭДС. Анализируя форму выходного сигнала с такого датчика, можно с высокой точностью определить, произошло зарядание или вылет мины. Пример работы ДМ приведен на рис. 4, здесь можно последовательно наблюдать зарядание и последующий вылет мины. Амплитуда сигнала прямо пропорциональна силе тока, протекающего через катушку, индуктивности катушки и скорости мины. Длительность сигнала при зарядании и вылете мины сильно различается, что обуславливается разностью скорости мины при зарядании и вылете.

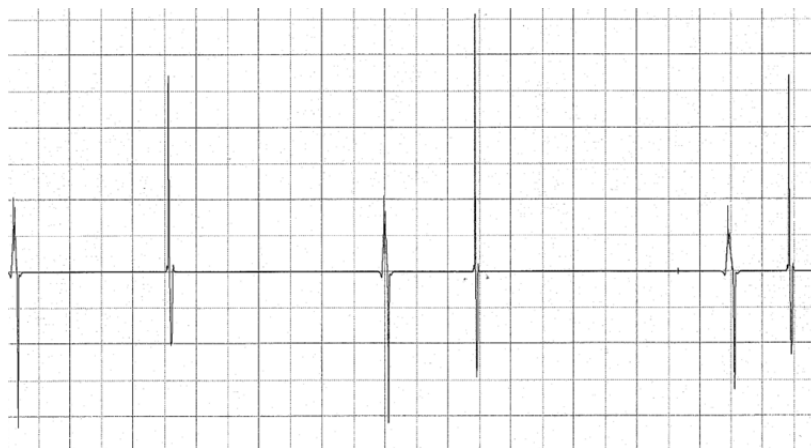


Рис. 4. Пример работы датчика мины при зарядке/вылете мины

Рассмотрим подробнее способы световой индикации на БУ. Для наших целей наиболее подходят сверхяркие разноцветные светодиоды, с которыми не возникнет проблем в том, чтобы различить на расстоянии пяти метров цвет горящего светодиода даже при ярком солнечном свете. Но стоит учесть, что энергопотребление не слишком дорогих ярких светодиодов достаточно велико (от 2 до 1000 мА/ч).

Так как световые индикаторы предназначены для визуализации текущего состояния миномета и системы, их количество напрямую зависит от количества возможных состояний миномета и системы, но при этом оно должно быть минимизировано алгоритмическим способом с учетом эргономических особенностей и обладать информативной полнотой для однозначного трактования. Перечислим основные состояния, которые необходимо воплотить в системе:

1) «Отключено» – вся электроника обесточена, отсутствуют звуковая и световая сигнализации, УИ и БУ не функционируют;

2) «Диагностика» – БУ проверяет на наличие неисправностей ДМ и ДТ, пытается установить связь с УИ, проверяет свой уровень заряда аккумулятора, после чего переходит в режим «Норма» или «Неисправность»;

3) «Норма» – основной режим, в котором непрерывно анализируются данные с АЦП о зарядании мины и данные о температуре ствола, при этом мины в стволе нет, температура не превышает допустимую, неисправностей не обнаружено и аккумуляторы БУ и УИ достаточно заряжены;

4) «Заряжено» – в этот режим аппаратура переходит при регистрации факта зарядания мины, в нем непрерывно анализируются данные с АЦП о вылете мины, помимо этого, БУ проверяет только на наличие неисправности АЦП;

5) «Осечка» – если после зарядания мина в течение Т1 минут не вылетела из ствола;

6) «Перегрев» – температура ствола превысила допустимую, проводится анализ температурных данных и наличия неисправностей;

7) «Неисправность» – обнаружена неисправность ДМ, и/или ДС, и/или БУ, аккумулятор БУ близок к полной разрядке;

8) «Энергосбережение» – по истечении Т2 минут без изменения режима система переходит в глубокое энергосбережение.

Следовательно, нам необходимо реализовать восемь комбинаций световой индикации. При количестве индикаторов, равном двум, мы получаем четыре комбинации, если брать в учет только два состояния: горит и не горит, и восемь комбинаций, если ввести состояние «мигание». Наиболее логичными цветами с точки зрения эргономики для двух световых индикаторов являются зеленый и красный. Зеленый цвет будет означать возможность на данный момент безопасной эксплуатации миномета, красный – состояние, при котором не допускается использование миномета (заряжено, осечка, перегрев, неисправность). Использование периодической световой индикации (мигание, различимое по частоте) для двух индикаторов может привести только к усложнению распознавания множества состояний. Использование трех индикаторов, где в дополнение к красному и зеленому индикаторам добавим синий для индикации вспомогательной информации, дает возможность путем комбинирования цветов более точно отразить в полном объеме все вышеперечисленные состояния миномета и интеллектуальной системы. Использование четырех световых индикаторов избыточно и приводит к повышенному энергопотреблению.

Что касается вариантов звуковой сигнализации, то звуки, применяемые в УИ для индикации состояний ИСПБМ, необходимо подобрать максимально интуитивно понятными. Так, например, в режиме «Норма» для индикации того, что система работает стабильно, можно использовать периодические, короткие, не слишком громкие щелчки, чтобы не отвлекать внимания членов минометного расчета. В наиболее опасных режимах «Заряжено», «Осечка», «Перегрев» сигналы должны быть громкими, частыми, тревожными, различимыми между собой, но при этом не слишком сильно влиять на концентрацию членов минометного расчета. Логично предположить, что в режиме «Энергосбережение» звуковая сигнализация должна отсутствовать.

Рассмотрим конструктивные особенности БУ и УИ.

Как было ранее обозначено, размеры и масса корпусов БУ и УИ должны быть минимальными. Определяющую роль при выборе размера корпуса играет размер аккумулятора. Выбор аккумулятора – это компромисс между параметрами «размер – емкость – цена». Оптимальными материалами для корпусов БУ и УИ являются сплавы титана, алюминия или прочные пластмассы, так как при высоких прочностных и надежностных характеристиках они обладают достаточно низкой плотностью. БУ в составе миномета должен обладать герметичным исполнением (защита от атмосферных осадков, пыли) и выдерживать механические удары многократного действия при выстреле с пиковым ударным ускорением свыше 1000 g. К УИ предъявляются менее жесткие требования, так как они располагаются на шлемовой гарнитуре членов минометного расчета и не подвержены механическому воздействию, а в случае выхода из строя должны быть легко заменены на исправные из комплекта ЗИП. Для выхода из режима «Энергосбережение» целесообразно ввести в конструкцию БУ и УИ кнопку сброса, при нажатии которой узлы переходили бы в рабочее состояние. Расположение индикаторов, кнопки сброса, разъема для подключения кабеля датчиков или кабеля наушников должно максимально отвечать требованиям эргономики.

Автономное питание узлов ИСПБМ и небольшие массогабаритные параметры питающего элемента сильно ограничивают энергопотребление системы. Обозначим требование в 72 ч непрерывной работы без подзарядки и перехода в режим «Энергосбережение». Оптимальным источником автономного питания в соотношении «емкость – цена» являются Li-ion аккумуляторы емкостью от 2500 до 3500 мА/ч. Таким образом, БУ или УИ должны иметь в рабочем режиме суммарное потребление до 34–48 мА/ч. Решить поставленную задачу можно использованием маломощной компонентной базы.

Для анализа данных, управления связью и самодиагностики необходимо применить микроконтроллер, так как на данный момент это – идеальное соотношение параметров «функциональность – цена – габариты».

Дальность связи между БУ и УИ можно ограничить 5–10 м. Это связано с пространственным размещением членов минометного расчета на небольшой площади, защитой от внешних помех и помех от соседнего расчета, а также с возможностью использования маломощных передатчиков и приемников в диапазоне 2,4 ГГц.

Наиболее интересным вариантом является применение системы на кристалле (SoC), в которой микроконтроллер и беспроводной интерфейс интегрированы в один модуль. Рассмотрим ИСПБМ с реализацией SoC в виде STM32W108 на базе 32-разрядного ядра ARM Cortex-M3. Компактный маломощный микроконтроллер содержит все необходимые интерфейсы для подключения внешней периферии. Например, через интерфейс SPI1 в БУ можно подключить ЦАП для создания опорного напряжения (среднего уровня) для канала АЦП, работающего с ДМ, в УИ ЦАП можно использовать для звуковой индикации, на I2C подключить мониторы аккумуляторов, через интерфейс SPI2 – микросхему расчета температуры. Встроенная радиочасть позволяет минимизировать количество внешних элементов, аппаратная реализация MAC-уровня дает значительный выигрыш в простоте работы со стеком протокола стандарта IEEE 802.15.4. Энергопотребление снижено до 27 мА/ч в режиме приема и 31 мА/ч в режиме передачи для применения в автономных беспроводных системах. Энергопотребление можно понизить еще сильнее за счет снижения частоты функционирования системы и снижения мощности сигнала. На рис. 5 приведена общая структура БУ на базе STM32W108. В качестве микросхемы расчета температуры выбран маломощный времяцифровой преобразователь (ВЦП) GP21.

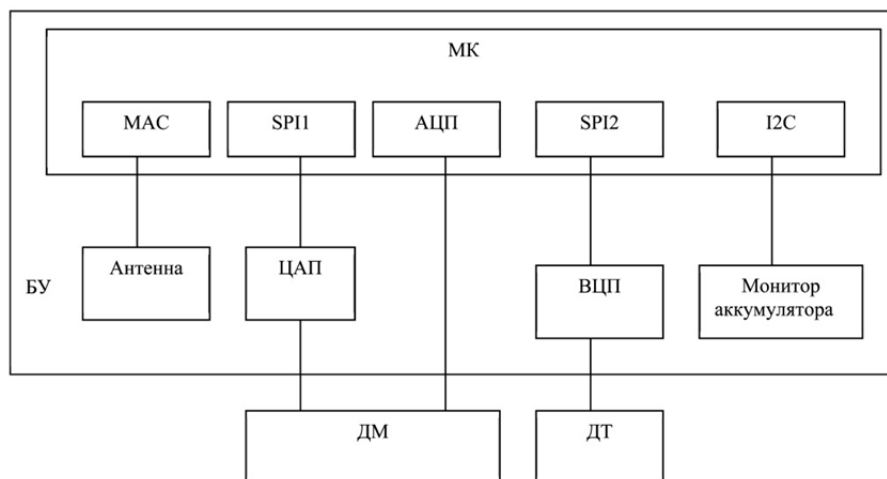


Рис. 5. Структура блока управления

Приведенный пример построения ИСПБМ, реализованного в ОАО НИИФИ, показал возможность создания недорогих интеллектуальных систем, повышающих качество и безопасность эксплуатации старых видов вооружения, таких как дульнозарядный миномет. На данный момент система проходит полигонные испытания в составе изделия. ИСПБМ отражает современные принципы дистанционного мониторинга состояния опасного объекта, разработанная сигнализация режимов миномета является информативной, однозначной и не избыточной. Дальнейшее развитие направления, например, применение автоматического наведения миномета, удаленного контроля состояния и здоровья солдат, приведет к полной

автоматизации управления минометным расчетом, что в свою очередь повысит безопасность, скорострельность, точность и надежность этого вида вооружения.

Список литературы

1. Федосеев, С. По крутым траекториям / С. Федосеев // Вокруг света. – 2009. – № 4 (2823). – Апрель.
2. Монетчиков, С. Арсенал: «Дворник» для чистки окопов» / С. Монетчиков. – URL: http://www.bratishka.ru/archiv/2007/10/2007_10_11.php
3. Описание изобретения к авторскому свидетельству. Приспособление для предотвращения двойного заряжания миномета / Афанасьев Н. М., заявка № 9116/334983 от 22 сентября 1944 г. в Народный Комиссариат обороны СССР
4. Электротехническая энциклопедия № 16. Датчики / Гомельский государственный политехнический колледж. – URL: http://www.electrolibrary.info/subscribe/sub_16_datchiki.htm
5. Расчет индуктивного датчика с разомкнутой магнитной цепью. – URL: <http://msd.com.ua/induktivno-chastotnye-preobrazovateli-neelektricheskix-velichin/raschet-induktivnogo-datchika-s-razomknutoj-magnitnoj-cepyu/>

Плаксин Игорь Михайлович

начальник лаборатории,
Научно-исследовательский институт
физических измерений,
аспирант,
Пензенский государственный университет
E-mail: info@niifi.ru

Plaksin Igor' Mikhaylovich

head of a laboratory,
Scientific-research Institute
of physical measurement,
postgraduate student,
Penza State University

Фомичев Андрей Васильевич

начальник 8-го комплекса,
Научно-исследовательский институт
физических измерений,
аспирант,
Пензенский государственный университет
E-mail: info@niifi.ru

Fomichev Andrey Vasil'evich

head of the complex,
Scientific-research Institute
of physical measurement,
postgraduate student,
Penza State University

Чувькин Борис Викторович

доктор технических наук, профессор,
кафедра информационно-вычислительных систем,
Пензенский государственный университет
E-mail: chuvykin_bv@mail.ru

Chuvykin Boris Viktorovich

doctor of technical sciences, professor,
sub-department of information computer systems,
Penza State University

УДК 623.4

Плаксин, И. М.

Разработка перспективной интеллектуальной системы повышения безопасности дульно-зарядного миномета / И. М. Плаксин, А. В. Фомичев, Б. В. Чувькин // Измерение. Мониторинг. Управление. Контроль. – 2015. – № 1 (11). – С. 61–67.