

ИЗМЕРИТЕЛЬНАЯ ТЕХНИКА

УДК 623.593

С. Ф. Егоров, кандидат технических наук, доцент
Институт механики УрО РАН, г. Ижевск
ИжГТУ имени М. Т. Калашникова
В. С. Казаков, кандидат технических наук, профессор
В. А. Афанасьев, кандидат технических наук
И. Г. Корнилов, кандидат технических наук
И. В. Коробейникова, кандидат технических наук
ИжГТУ имени М. Т. Калашникова

ЭВОЛЮЦИЯ ЭЛЕКТРОННЫХ АКУСТИЧЕСКИХ МИШЕНЕЙ: ИНФОРМАЦИОННО-ИЗМЕРИТЕЛЬНЫЕ СИСТЕМЫ ДЛЯ СТРЕЛКОВОГО ОРУЖИЯ

Приведена история разработок акустических мишеней на кафедре «Вычислительная техника» ИжГТУ имени М. Т. Калашникова за 25 лет. Исследованы структура и конструкции информационно-измерительных систем и их параметры. Показана эволюция технических средств акустических мишеней: датчиков, линий связи, таймеров, аналогово-цифровых преобразователей. Сделан вывод о перспективности дальнейших исследований и усовершенствований информационно-измерительных систем для стрелкового оружия на базе акустических мишеней.

Ключевые слова: акустическая мишень, акустический датчик, кучность, меткость, измерительная система.

Электронные акустические мишени, применяемые на производстве для определения параметров кучности и меткости стрелкового оружия и в структурах МО РФ для военной приемки, состоят из ряда смонтированных по периметру мишени акустических датчиков (рис. 1). Датчики реагируют на звукобаллистическую волну (конус Маха) от пролетающего объекта, и по времени прихода волны до датчиков

(D_i) однозначно определяются координаты попадания в мишень решением системы уравнений. При этом в дозвуковых мишенях (со скоростью пролета объектов до 500 м/с), когда полноценный конус Маха не образуется, применяется преобразующее механическое устройство перед датчиками в виде резиновой многоразовой плоскости [1–21].

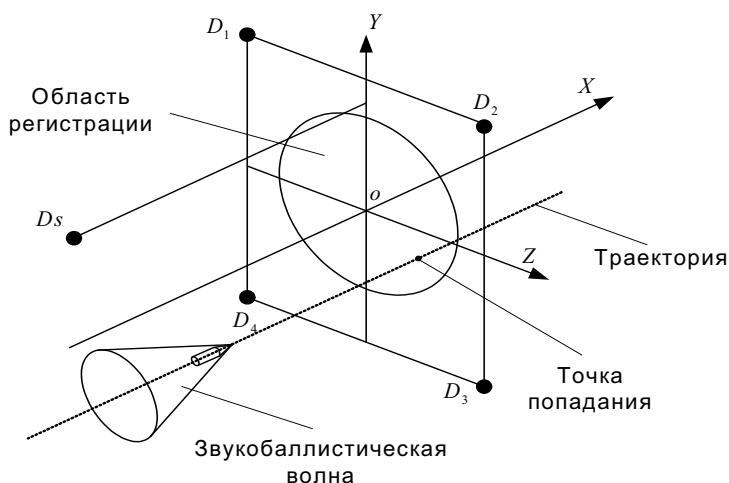


Рис. 1. Конструкция акустической мишени

Точка попадания (ТП) определяется, например, исходя из первой и самой простой математической модели сверхзвуковой акустической мишени, в которой расстояние от акустического датчика до ТП вычисляется как измеряемое пройденное расстояние конуса Маха до датчика без учета факторов усложнения, а траектория пролета объекта считается перпендикулярной плоскости мишени:

$$\sqrt{(y_i - y_0)^2 + (z_i - z_0)^2} = \frac{va(t_i - t_0)}{\sqrt{v^2 - a^2}}, \quad (1)$$

где y_0, z_0 – координаты точки попадания; y_i, z_i – координаты i -го датчика D , $i = 1, \dots, 4$; v – скорость пули в зоне срабатывания датчиков; a – скорость звука; t_0 – момент времени начала отсчета

(т. е. время пролета через плоскость мишени); t_i – момент времени фиксации сигнала на i -м датчике D .

Количество акустических датчиков мишени равно количеству неизвестных в системе уравнений (1) и в простейшем случае равно 4 (плюс еще стартовый датчик D_s , который запускает аппаратуру фиксации времени), а неизвестными считаются y_0, z_0, t_0, ζ , где

$$\zeta = \frac{va}{\sqrt{v^2 - a^2}}.$$

Исследуются математические модели акустических мишеней, например в среде *MatLab*, с помощью системы обыкновенных дифференциальных уравнений, описывающих баллистическое движение объекта в плоскости стрельбы:

$$\left. \begin{aligned} \frac{du}{dx} &= -cH(y)G(v); & \frac{d\gamma}{dx} &= -\frac{g}{u^2}; \\ \frac{dy}{dx} &= \gamma = \operatorname{tg}\theta; & \frac{dt}{dx} &= \frac{1}{u}; & v &= u\sqrt{1+\gamma^2}, \end{aligned} \right\} \quad (2)$$

где $u = v \cos \theta$ – проекция скорости на ось Ox ; $\gamma = \operatorname{tg} \theta$ – тангенс угла наклона вектора скорости; y, x – координаты центра массы пули; t – время движения пули по траектории; $G(v)$ – функция сопротивления по закону 1943 г.; c – баллистический коэффициент пули; g – ускорение свободно падающего тела; $H(y) = 1$ – в случае настильных траекторий (в тире).

За последние 25 лет на кафедре «Вычислительная техника» (ВТ) ИжГТУ имени М. Т. Калашникова совместно с лабораторией информационно-измерительных систем (ИИС) Института механики УрО РАН коллективом под руководством заслуженного деятеля науки РФ, действительного члена Академии военных наук (АВН), лауреата премии им. С. И. Мосина, д-ра техн. наук, проф. Юрия Всеволодовича Веркиенко и заслуженного деятеля науки Удмуртии, члена-корреспондента АВН, лауреата премии им. С. И. Мосина, канд. техн. наук, проф. Виктора Степановича Казакова (в том числе и руководителя научно-технического центра при кафедре «ВТ») было разработано, изготовлено и внедрено более 25 ИИС для испытания стрелкового оружия – электронных мишеней (защищены 11 патентами), как световых, акустических сверхзвуковых и дозвуковых, так и телевизионных.

При разработке учитывались условия испытаний на открытой местности и в условиях закрытого тира в соответствии с требованиями режима, охраны, техники безопасности при стрельбе из боевого стрелкового и пушечного оружия различного калибра от 4,5 до 100 мм, начальных скоростей от 80 до 1200 м/с и скорострельности до 1500 выстрелов в минуту.

Традиционно кафедра «ВТ» ИжГТУ занималась световыми мишенями, когда пролетающий объект пересекает ряд световых плоскостей (состоят из плоскостного светового излучателя и фотоприемника) и по времени пересечения определяются как скорость

объекта, так и его пространственные координаты. Авторское свидетельство на такую световую мишень с пятью секущими плоскостями В. С. Казаков получил еще в 1967 г. Освоение же акустических мишеней произошло практически случайно.

Разработка электронной акустической мишени в г. Ижевске относится к концу восьмидесятых годов, когда работы велись в ИНИТИ «Прогресс» по заказу 5 Главка МОП СССР для Вятских Полян, но зашли в тупик, и разработчики обратились за помощью на кафедру «ВТ» ИжГТУ. Мишень базировалась на Электронике-60 (популярном тогда компьютере для станков с числовым программным управлением), дополненном самодельным контроллером с высокоточным таймером и 4 акустическими датчиками, и никак не хотела внятно работать. После совместных доработок система прошла испытания и была внедрена.

Но в начале 90-х гг. ИНИТИ прекратил свое существование, мишень в Вятских Полянах вышла из строя, а при кафедре «ВТ» ИжГТУ был организован Научно-технический центр (НТЦ ВТ) под руководством В. С. Казакова. В НТЦ ВТ и обратились с предложением отремонтировать акустическую мишень – вот так и началась история исследования, разработки и внедрения инновационных акустических мишеней на кафедре «Вычислительная техника».

После осмотра системы в Вятских Полянах был сделан вывод, что проще разработать новую, чем ремонтировать морально и технически устаревшую старую мишень. Первое, заменили Электронике-60 на IBM PC XT, а для совместимости со старым программным обеспечением разработали для нее эмулятор команд Эл-60 (а это аналог вычислительных машин семейства PDP-11, CM ЭВМ, ДВК), работающий под MS DOS. Разработкой занимались С. В. Казаков и С. Ф. Егоров, а программу стрелковых испытаний писал Л. И. Крючков. Второе, переделали акустические датчики (старые плохо выдерживали вибрацию и влагу): взяли новые пьезокристаллы (заказали на спецзаводе тысячу штук с отличными импульсными характеристиками), заменили локальную электронику и линии подключения датчиков к согласующему блоку (уложились в два провода, совместив питание с сигналом), улучшили конструкцию датчика (ввели демфирующие прокладки и влагоизоляцию) и увеличили количество датчиков до 5. Третье, переделали связывающий датчики и компьютер-контроллер: плата на 5 каналов устанавливалась в XT слот ISA и состояла из компараторов с программируемым уровнем. Разработкой и сопровождением электронного оборудования занимались В. В. Шадрин, С. А. Вохмин и В. В. Разумов. И четвертое, самое сложное, пришлось бороться с родовыми дефектами старой мишени – слабо обусловленной математической моделью, которая часто не сходилась (для решения этого и пришлось ввести 5-й датчик). Разработкой и обоснованием новой математической модели акустической мишени занимались В. В. Коробейников, И. В. Коробейникова (впо-

следствии защитили диссертации по акустическим мишеням) и Ю. В. Веркиенко, а впоследствии С. Ф. Егоров и В. А. Афанасьев. Новое программное обеспечение для ИИС разрабатывали В. В. Коробейников и С. В. Казаков и впоследствии И. Г. Корнилов и С. Ф. Егоров.

Очередная разработка с акустической мишенью относится к 1994 году, когда в Санкт-Петербурге была внедрена гибридная мишень, состоящая из световой мишени на расстоянии 25 м и двух акустических мишеней на расстояниях 50 и 100 м (рис. 2), которая определяла скорость объекта на дистанции 25 м и координату пролета на всех вышеперечисленных рубежах.

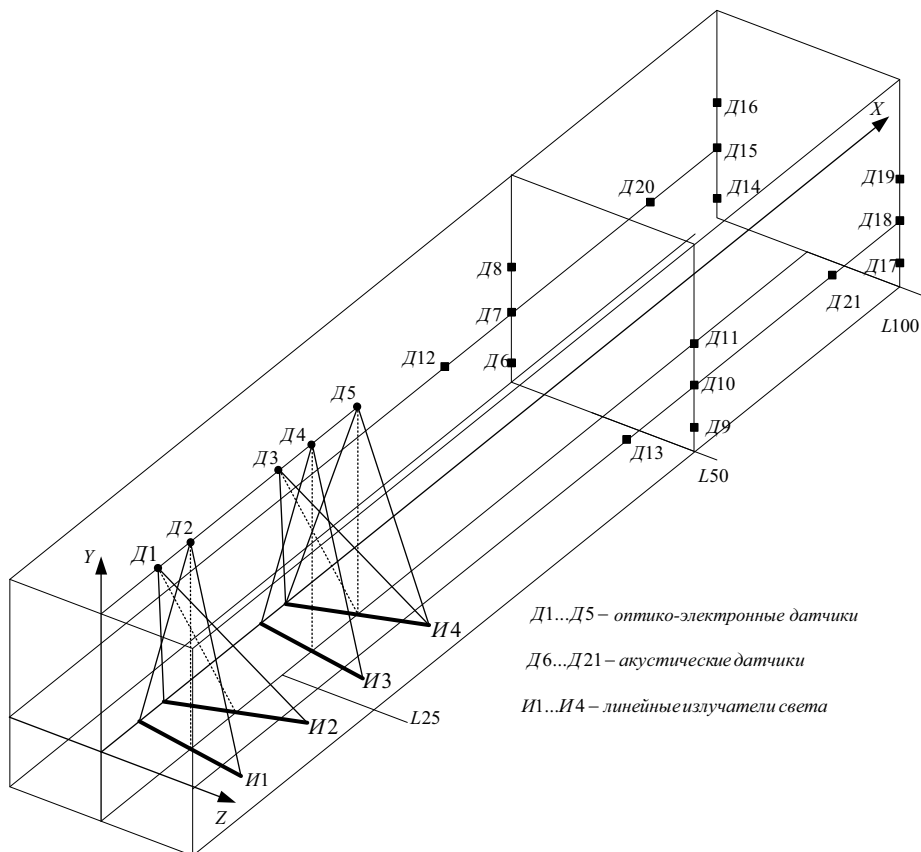


Рис. 2. Гибридная ИИС

Следующая существенная разработка относится ко второй половине 90-х, когда Ижевский машиностроительный завод (ОАО «Концерн «Ижмаш») предложил автоматизировать испытания стрелковых изделий (проверку кучности и меткости с соответствующим приведением к нормальному бою). Была разработана самая большая мишень размером 8×5 м (во всю стену) с 8 датчиками по 4 сверху и снизу, которая обслуживала два рабочих места на расстоянии 100 метров, правда не одновременно (рис. 3).

Компьютер использовался помощнее - IBM PC AT под MS DOS с программно выверенным таймером с точностью до 1 мкс (для точности мишени большое значение имеет погрешность определения времен срабатывания датчиков, поэтому эксперименты с самодельными аппаратными и программными таймерами составляли существенную долю исследовательских работ). Система была успешно внедрена, быстро окупилась и функционировала до недавнего времени.

После успеха этой ИИС «Ижмаш» заказал разработать систему уже для стрелкового цеха для испы-

тания «Абаканов», отличающихся повышенной скорострельностью (внутри двойки, естественно). Тогда впервые были задействованы микроконтроллеры семейства Siemens (которые позволяли оперативно фильтровать сигналы акустических датчиков от помех и накапливать значения времен для последующей обработки), работы велись на компьютере x486 IBM PC под Windows 95 в среде Delphi.

Следующая разработка относится к Санкт-Петербургу и уже к началу XXI в., где уже было внедрено несколько световых мишеней и одна гибридная. Мобильная акустическая мишень (рис. 4) монтировалась на открытом воздухе, была перемещаемой по рельсам (до 300 м) и связывалась с базой по радиоканалу (до 5 км). Из-за ветра на полигоне пришлось дорабатывать математическую модель и задействовать до 20 акустических датчиков (впоследствии по этой работе защитил диссертацию С. В. Казаков), но турбулентность воздушных потоков вводила жесткие ограничения на время стрельбы (по краям мишени висели флажки, и стрельбу можно было вести, только когда колебания флажков укладывались в требования).

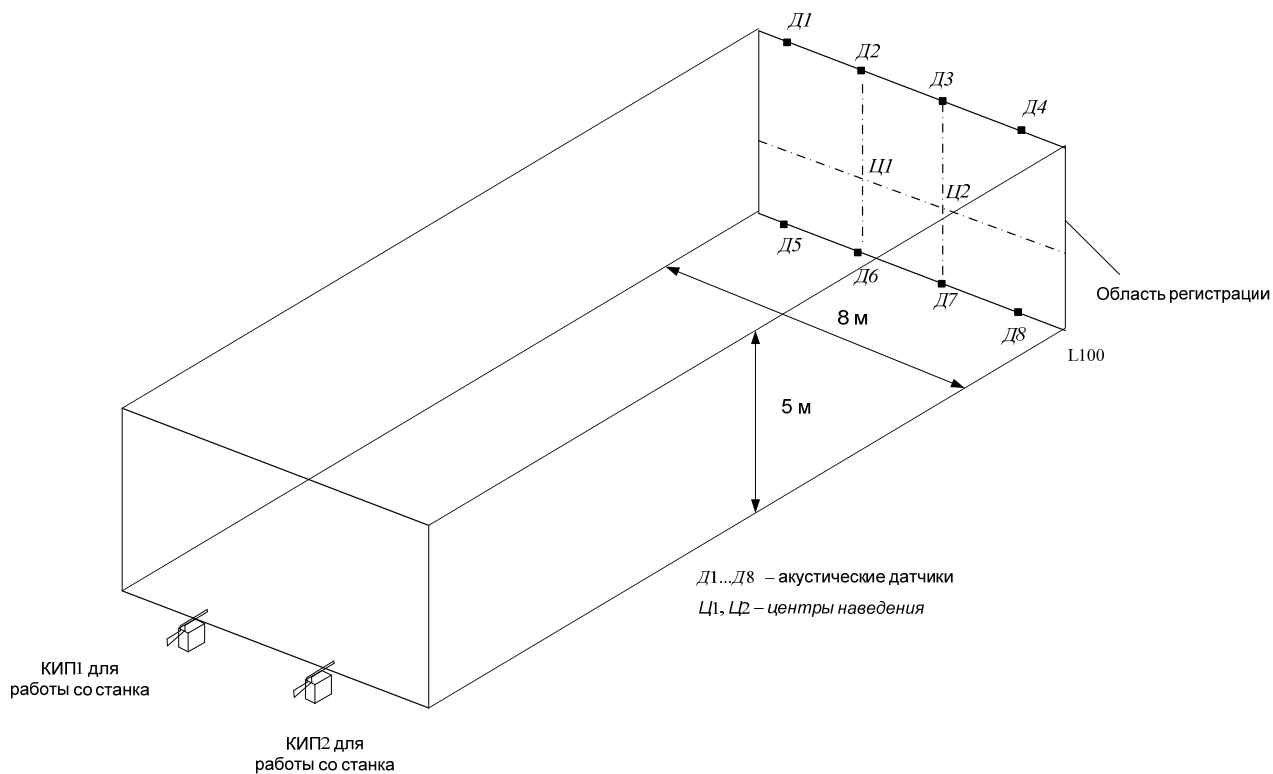


Рис. 3. Автоматизированная ИИС

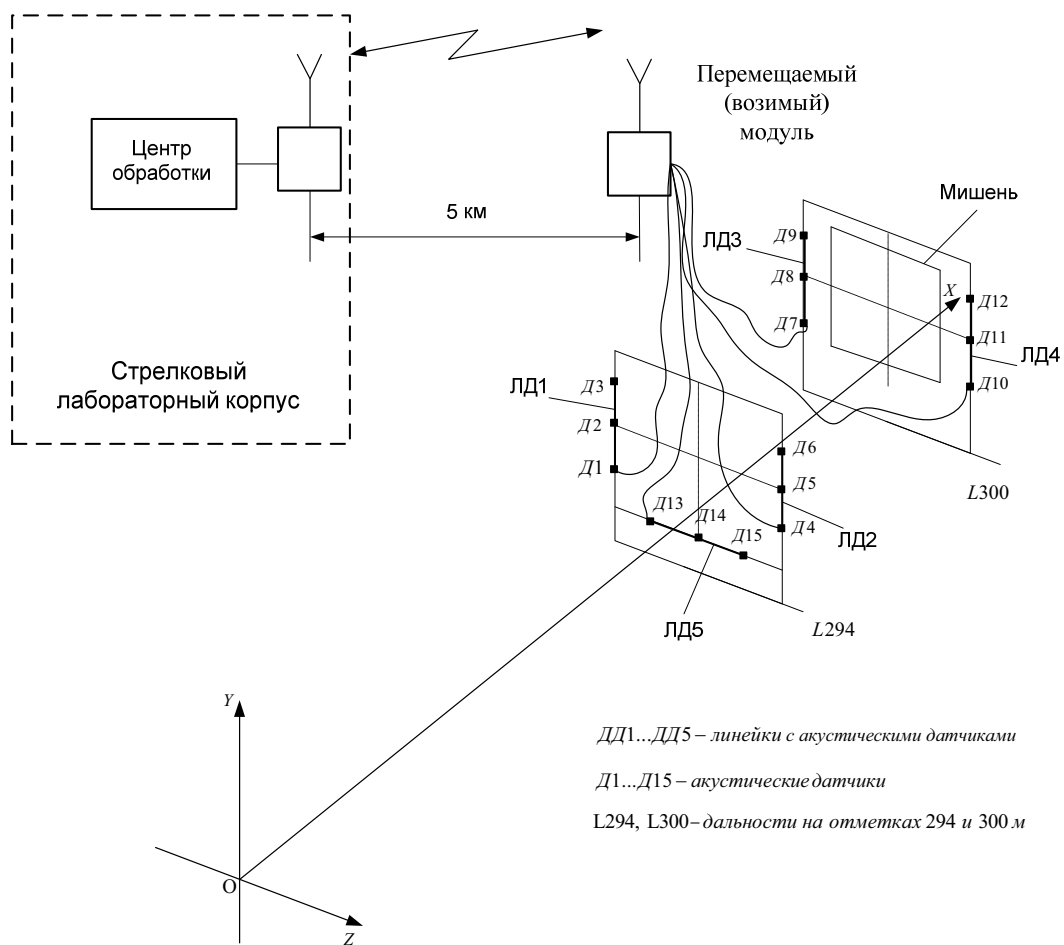


Рис. 4. Мобильная акустическая мишень

Очередная разработанная акустическая мишень была установлена на Ковровском механическом заводе для испытания пулеметов калибра 7,62. Здесь впервые удалось сформировать полноценный коллектив местных сотрудников для сопровождения, обслуживания и даже модернизации мишени.

Далее стрелковую ИИС заказал Ижевск для испытания изделий с до- и околосвуковой скоростью метаемых объектов. При дозвуковых скоростях не

формируется полноценный конус Маха и стандартная акустическая мишень неработоспособна и была предложена система, использующая преобразователь акустической волны в виде резиновой многоразовой пластины (рис. 5), и разработана соответствующая математическая модель. ИИС содержала 6 акустических датчиков, расположенных на дистанции 50 м, и показала лучшие точностные характеристики, чем существующий на заводе швейцарский аналог.

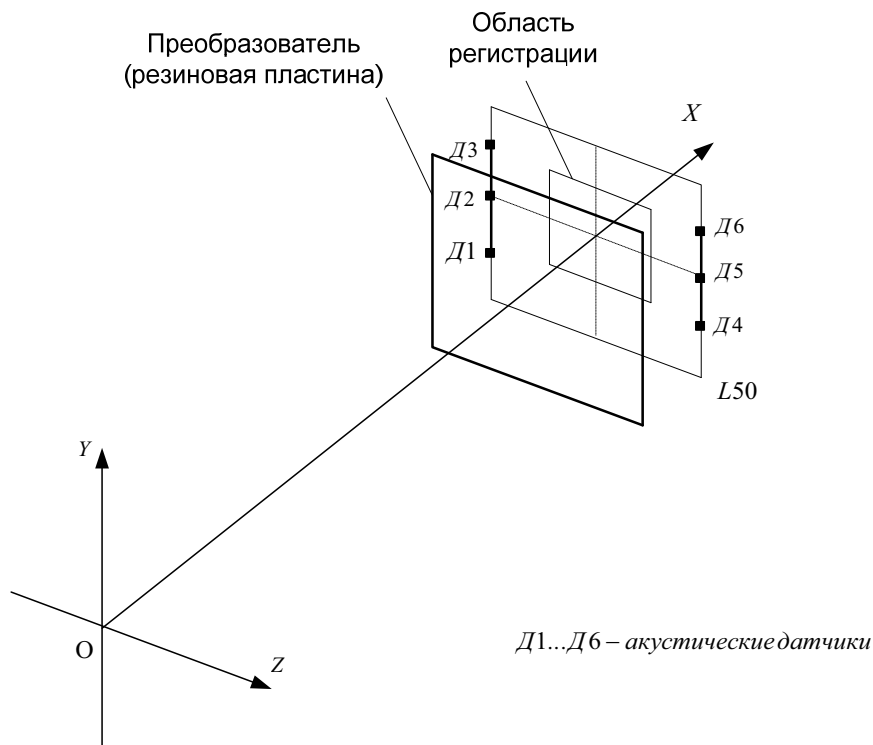


Рис. 5. Дозвуковая акустическая мишень

Последняя внедренная разработка относится к «Ижмашу» и к 2010 г., была разработана акустическая ИИС на дистанции 100 м и на два рабочих места с разным креплением изделий, но одновременной работой только с одного места (рис. 6). В разработке впервые был задействован цифровой осциллограф в качестве контроллера связи акустических датчиков с компьютером (т. е. взят курс на использование по максимуму стандартных компонент) и модифицирована схема размещения датчиков (пространственное разнесение для поддержания двухканального режима работы осциллографа).

Большинство остальных работ сводилось к сопровождению уже внедренных акустических мишеней и их модификации: замена на современные аку-

стические датчики, обновление систем сопряжения, контроллеров на цифровые осциллографы, вышедших из строя персональных компьютеров, обновление программного обеспечения и математических моделей.

Таким образом, экономическая эффективность акустической мишени определяется дешевизной датчиков и рамной конструкции, простотой пусконаладочных работ (из-за низких требований к точности конструкции все неточности выбираются на этапе идентификации математической модели) и высокой точностью в закрытых помещениях, но не гарантируется такая же скорострельность, как у световой мишени, и точность на открытом воздухе.

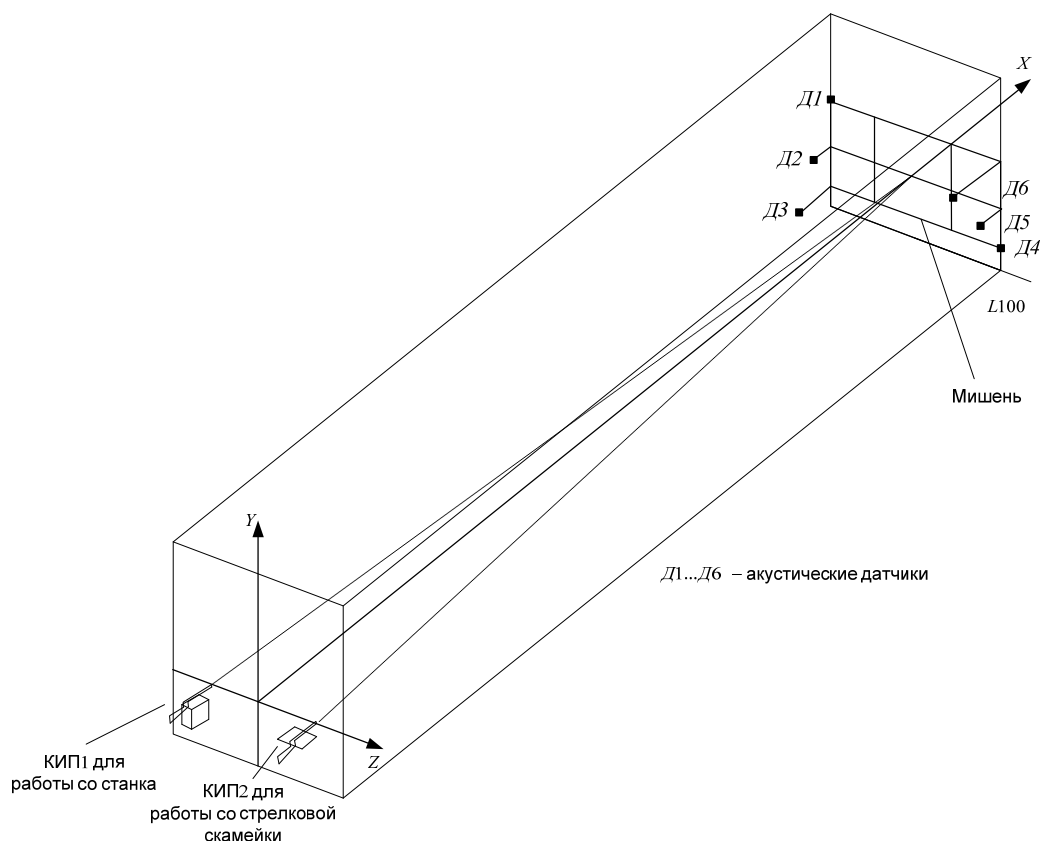


Рис. 6. Унифицированная акустическая мишень

Библиографические ссылки

1. Пат. 2331738 Российская Федерация, МПК F41 J 5/06. Способ определения внешнебаллистических характеристик полета пуль и снарядов / Веркиенко Ю. В., Казаков В. С., Казаков С. В., Коробейников В. В.; заявитель и патентообладатель Институт прикладной механики УРО РАН. – № 2002119931/02; заявл. 22.07.2002; опубл. 27.06.2004. Бюл. № 7-ил.

2. Оценивание результатов испытаний в ИИС на основе автоматических мишеней / И. В. Коробейникова, В. В. Коробейников, В. С. Казаков // Вестник Ижевского государственного технического университета. – 2006. – № 4. – С. 43–49.

3. Анализ подходов к назначению точности измерений при оценке качества продукции / В. А. Афанасьев, Н. Ю. Афанасьева, В. С. Талашева // Вестник Ижевского государственного технического университета. – 2006. – № 3. – С. 52–57.

4. Пат. 2392577 Российская Федерация, МПК F41 J 5/06. Устройство определения внешнебаллистических параметров на основе акустических датчиков / Афанасьева Н. Ю., Афанасьев В. А., Веркиенко Ю. В., Коробейников В. В.; заявитель и патентообладатель Институт прикладной механики УРО РАН. – № 2008129855/02; заявл. 18.07.2008; опубл. 20.06.2010. Бюл. № 17-ил.

5. Решение обратной задачи внешней баллистики в информационно-измерительной системе / В. А. Афанасьев, Н. Ю. Афанасьева, А. Ю. Вдовин, Ю. В. Веркиенко // Вестник Ижевского государственного технического университета. – 2008. – № 4. – С. 104–106.

6. Исследование уравнений внешней баллистики для решения обратной задачи / В. А. Афанасьев, Н. Ю. Афанасьева, А. Ю. Вдовин, Ю. В. Веркиенко // Вестник Ижев-

ского государственного технического университета. – 2008. – № 4. – С. 105–107.

7. Афанасьев В. А. Демпфирование акустических датчиков в системах испытаний для определения внешнебаллистических параметров // Вестник Ижевского государственного технического университета. – 2009. – № 3. – С. 137–139.

8. Казаков, В. С., Казакови С. В. Построение измерительных систем для стрелкового оружия на современной технической базе // Интеллектуальные системы в производстве. – 2010 – № 2. – С. 134–138.

9. Контроль изделий по кучности стрельбы методом последовательного анализа / В. А. Афанасьев, И. В. Коробейникова, В. В. Коробейников // Вестник КИГИТ. – 2010. – № 1 (10). – С. 46–54.

10. Афанасьев В. А., Веркиенко Ю. В. Анализ погрешностей управления техпроцессом приведения изделий к нормальному бою // Вестник КИГИТ. – 2010. – № 1 (10). – С. 82–85.

11. Коробейников В. В. Модель дозвуковой акустической мишени // Вестник Ижевского государственного технического университета. – 2011. – № 1. – С. 100–102.

12. Коробейников В. В., Казаков В. С. Выбор конструкции дозвуковой акустической мишени для физической модели информационно-измерительной системы // Интеллектуальные системы в производстве. – 2011 – № 1. – С. 185–190.

13. Коробейников В. В., Коробейникова И. В. Варианты моделей акустических мишеней // Вестник КИГИТ. – 2012. – № 1 (19). – С. 18–23.

14. Коробейников, В. В., Казаков В. С. Дозвуковая акустическая мишень для измерения координат точки попадания и скорости пули // Вестник Ижевского государственного технического университета. – 2012. – № 2. – С. 104–107.

15. Коробейников В. В., Коробейникова И. В. Математическая модель универсальной сверхзвуковой акустической мишени // Вестник Ижевского государственного технического университета. – 2012. – № 3. – С. 101–103.

16. Коробейников В. В., Казаков В. С. Акустическая мишень с выносным датчиком // Интеллектуальные системы в производстве. – 2013 – № 1. – С. 127–129.

17. Егоров, С. Ф., Коробейников В. В. Повышение точности акустической мишени за счет использования взвешенных моментов времени // Интеллектуальные системы в производстве. – 2014. – № 2 (24). – С. 105–108.

18. Исследование влияния на точность акустической мишени, инвариантной к рабочей позиции математической модели / С. Ф. Егоров, И. В. Коробейникова, А. В. Коробейников // Интеллектуальные системы в производстве. – 2015 – № 3 (27). – С. 45–49.

19. Информационно-измерительные системы оборонного назначения: стрелковые тренажеры и электронные мишени / С. Ф. Егоров, В. В. Коробейников, В. С. Казаков // Механика и физико-химия гетерогенных сред, наносистем и новых материалов : материалы научных исследований. – Ижевск, 2015. – С. 328–349.

20. Афанасьев В. А., Казаков С. В. Модели акустической волны при различных скоростях движения пули и звука с учетом ветра // Системная инженерия. – 2015. – № 1 (1). – С. 41–52.

21. Афанасьев В. А., Коробейникова И. В. Модели акустических мишеней для сверхзвуковых и дозвуковых скоростей движения пуль // Системная инженерия. – 2015. – № 1 (1). – С. 53–64.

S. F. Egorov, PhD in Engineering, Associate Professor, Institute of Mechanics of UB RAS, Izhevsk, Kalashnikov ISTU

V. S. Kazakov, PhD in Engineering, Professor, Kalashnikov ISTU

V. A. Afanasyev, PhD in Engineering, Kalashnikov ISTU

I. G. Kornilov, PhD in Engineering, Kalashnikov ISTU

I. V. Korobeynikova, PhD in Engineering, Kalashnikov ISTU

Evolution of Electronic Acoustic Targets: Information and Measuring Systems for Small Arms

The paper presents the history of developments of acoustic targets for the last 25 years at the Computer facilities department of Kalashnikov ISTU. The structure and designs of information and measuring systems and their parameters are investigated. Evolution of technical means of acoustic targets is shown: sensors, communication lines, timers, analog digitizers. The conclusion is drawn on prospects of further researches and improvements of information and measuring systems for small arms on the basis of acoustic targets.

Keywords: acoustic target, acoustic transducer, grouping, accuracy, measuring system.

Получено: 09.11.16