



# ТЕХНИЧЕСКИЕ НАУКИ — ОТ ТЕОРИИ К ПРАКТИКЕ

*Сборник статей по материалам  
XLII международной научно-практической конференции*

№ 1 (38)  
Январь 2015 г.

Издается с октября 2011 года

Новосибирск  
2015

### **Список литературы:**

1. IEEE Standard for Information Technology — Telecommunications. Specific requirements. Part 11: WLAN MAC and PHY Specifications. NY, USA: IEEE press, 2009. — 502 p.
2. Designing and developing 802.11n Wireless Networks. — In., USA: CISCO press, 2010. — 499 p.

## **ИЗМЕРЕНИЕ СКОРОСТИ В БАЛЛИСТИЧЕСКОМ ЭКСПЕРИМЕНТЕ**

***Сидоров Алексей Дмитриевич***

*магистрант Национального исследовательского  
Томского государственного университета,  
РФ, г. Томск*

*E-mail: [alex\\_sid92@mail.ru](mailto:alex_sid92@mail.ru)*

***Корольков Леонид Валерьевич***

*заведующий сектором НИИ прикладной математики и механики,  
РФ, г. Томск*

*E-mail: [korolkov.leo@rambler.ru](mailto:korolkov.leo@rambler.ru)*

***Моисеев Дмитрий Михайлович***

*студент Национального исследовательского Томского  
государственного университета,  
РФ, г. Томск*

*E-mail: [dmm1@sibmail.com](mailto:dmm1@sibmail.com)*

***Егоров Александр Леонидович***

*инженер-исследователь НИИ прикладной математики и механики,  
РФ, г. Томск*

*E-mail: [eaalexleon44@mail.ru](mailto:eaalexleon44@mail.ru)*

***Дьячковский Алексей Сергеевич***

*инженер-исследователь НИИ прикладной математики и механики,  
РФ, г. Томск*

*E-mail: [Lex\\_okha@mail.ru](mailto:Lex_okha@mail.ru)*

# MEASUREMENT OF THE VELOCITY OF A BALLISTIC EXPERIMENT

***Sidorov Aleksei***

*master of national research Tomsk state university,  
Russia, Tomsk*

***Korolkov Leonid***

*head of sector of Research institute of applied mathematics and mechanics,  
Russia, Tomsk*

***Moiseev Dmitry***

*student of national research Tomsk state university,  
Russia, Tomsk*

***Egorov Alexandr***

*engineer researcher of Research institute of applied mathematics and  
mechanics,  
Russia, Tomsk*

***Diachkovsky Alexey***

*engineer researcher of Research institute of applied mathematics  
and mechanics,  
Russia, Tomsk*

*Работа выполнена при финансовой поддержке Минобрнауки РФ  
в рамках государственного задания № 2014/223 (код проекта 1362).*

## АННОТАЦИЯ

Универсальный способ определения скорости метаемых сборок — использование электромагнитного датчика. Теория. Реализация электромагнитного датчика. Проблемы и пути решения. Выводы.

## ABSTRACT

Universal method for determining the velocity of methane assemblies — using an electromagnetic sensor. Theory. Implementation of the electromagnetic sensor. Problems and solutions. Conclusions.

**Ключевые слова:** скорость; датчик.

**Keywords:** velocity; sensor.

## Введение

Ключевой характеристикой баллистической установки является скорость метания из них сборок. Разработан ряд способов определения скорости метаемых сборок: метод баллистического маятника [1], механический хронограф [2]. Наиболее универсальным является использование электромагнитных датчиков [3; 4]. Они позволяют измерять скорость метаемых элементов в широком диапазоне скоростей: от сотен м/с, до нескольких км/с. Положительным отличием этого способа измерения является возможность определения материала метаемой сборки в зависимости от вида сигнала.

## Теория

Датчик (рис. 1) представляет собой дроссель с изменяющимся воздушным зазором  $\delta$ .

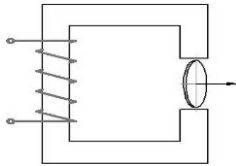


Рисунок 1. Принципиальная конструкция магнитного датчика

В случае небольшого зазора индуктивность  $L$  датчика можно оценить по формуле 1:

$$L = \frac{\omega^2}{Z_{mM} + Z_{mO}} = \frac{\omega^2}{\frac{l_M}{\mu\mu_0 S_M} + \frac{2\sigma}{\mu_0 S_0}} \quad (1)$$

где:  $Z_{mM}$  и  $Z_{mO}$  магнитное сопротивление сердечника и воздушного зазора соответственно;

$\omega$  — число витков обмотки;

$l_M$  — средняя длина магнитной силовой линии в ярме и якоре;

$S_M$  и  $S_0$  средние площади сечения сердечника и воздушного зазора;

$\mu$  — относительная магнитная проницаемость материала сердечника. В случае  $Z_{mM} \ll Z_{mO}$  формула 1 примет вид:

$$L = \frac{\omega^2 S_0 \mu_0}{2\sigma} \quad (2)$$

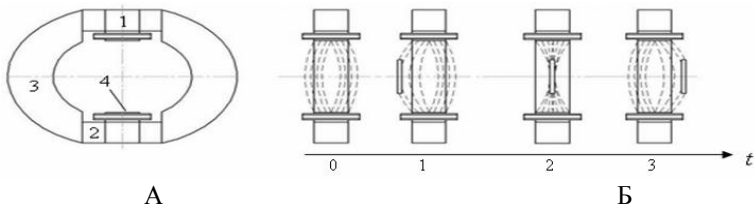
Тогда чувствительность датчика к перемещению  $\gamma$ , определяемую отношением изменения  $\Delta L$  к вызвавшему это изменение  $\Delta \delta$ , равна:

$$\gamma = \frac{\omega^2 \mu_0 S_0}{2\delta^2} \quad (3)$$

Таким образом, чувствительность обратно пропорциональна квадрату величины воздушного зазора. Поэтому индуктивные датчики особенно чувствительны при малых зазорах. При увеличении зазора зависимость  $L=f(\delta)$  становится нелинейной и как следствие амплитуда выходного сигнала значительно снижается. Тем не менее, к достоинствам индуктивных датчиков следует отнести значительную выходную мощность сигнала, достаточную во многих случаях для измерения без усилительных устройств, высокую чувствительность, сравнительную простоту конструкций. К недостаткам можно отнести высокую чувствительность к помехам. Индукционные датчики, используемые нами в баллистических экспериментах, относятся к генераторному типу датчиков, так как под воздействием входной величины они способны генерировать электрическую энергию. В датчиках постоянный магнит и катушка неподвижны, а ЭДС индуцируется посредством изменения магнитного потока из-за изменения магнитного сопротивления цепи, обусловленного изменением воздушного зазора при проходе метаемого элемента по блокирующему сечению.

### Реализация электромагнитного датчика скорости

Принцип работы блокирующего сечения показан на рис. 2.



**Рисунок 2. Принцип работы блокирующего сечения датчика дульной скорости. Примечание: А — сечение датчика в фас: 1 — феррит (рецептор), 2 — магнит, 3 — магнитопровод, 4 — измерительная катушка; Б — сечение датчика в профиль на различных этапах пролета метаемого элемента**

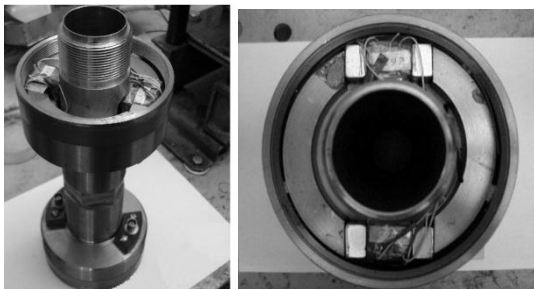
Начальный момент времени ( $t_0$ ): магнитное сопротивление воздушного промежутка стабильно, сигнал отсутствует. Момент времени ( $t_1$ ): метаемый элемент входит в зону чувствительности рецепторов, замыкая на себя силовые линии магнитного поля, изменяет магнитное сопротивление воздушного промежутка, генерируя электрический сигнал. Момент времени ( $t_2$ ) метаемый элемент в геометрическом центре магнитной системы амплитуда электрического сигнала максимальна. Момент времени ( $t_3$ ) — метаемый элемент покидает зону чувствительности рецепторов, генерируя сигнал обратной полярности.

Ранее (Кульпин В.И., Барышев М.С.) была проведена большая работа по конструированию, тестированию и эксплуатации датчика дульной скорости (ДДС, рис. 3) в НИИ ПММ ТГУ [5; 6]. В настоящее время в экспериментальных работах, проводимых на баллистических стендах НИИ ПММ ТГУ, для определения скорости метаемого тела на срезе ствола используются ДДС различных калибров.

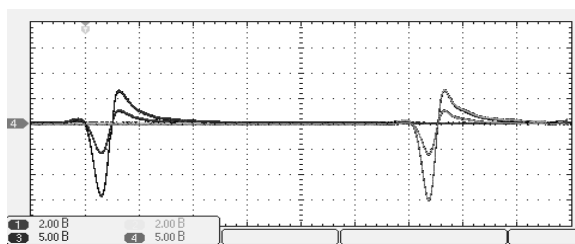


***Рисунок 3. Датчик дульной скорости, калибр 8 мм***

Датчик имеет два сечения, каждое сечение содержит магниты и магнитопровод, два рецептора, на которых установлены измерительные катушки, следящие за изменением магнитного потока (рис. 4). При прохождении через датчик, металлические элементы метаемого тела взаимодействуют с магнитным полем блокирующих сечений, в результате чего в катушках возникает ЭДС индукции. Электрические сигналы фиксируются осциллографом (рис. 5).



*Рисунок 4. Сечение датчика дульной скорости*

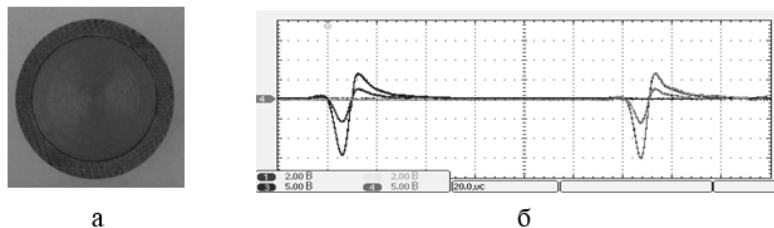


*Рисунок 5. Типичная осциллограмма при прохождении метаемого элемента по измерительному каналу ДДС*

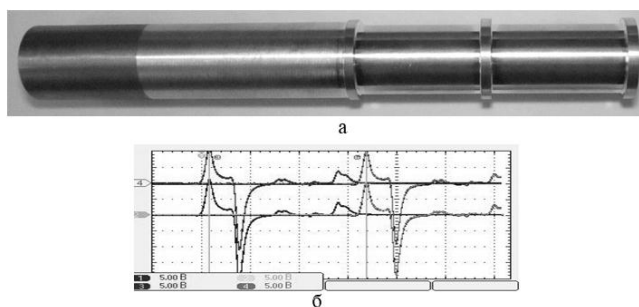
Анализ полученных сигналов позволяет вычислить скорость метаемого тела на срезе ствола, если принять что, база между блокирующими сечениями известна и время между импульсами измеряется с достаточной точностью.

#### **Проблемы и пути решения**

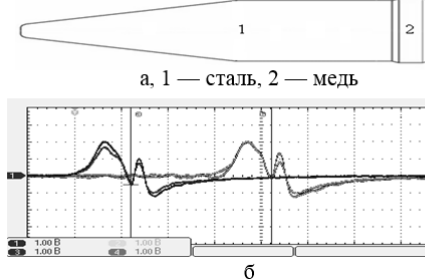
Одна из проблем регистрации скорости на срезе ствола заключается в значительном разнообразии материалов используемых в конструкциях метаемых элементов. В качестве материалов используются: парамагнетики (вольфрам, алюминий), диамагнетики (медь), ферромагнетики (сталь и пр). Метаемые элементы могут иметь сложную конструкцию, содержать медные ведущие пояски, быть подкалиберными, составными и пр. Для примера можно рассмотреть несколько вариантов: типичный метаемый элемент (сталь в текстолитовой рубашке) для отработки условий заряжания (рис. 6), метаемая сборка 1 из стали (слева) и дюрали (справа) (рис. 7), метаемая сборка 2 с медными поясками (рис. 8). Разные метаемые элементы дают различные сигналы на осциллографе.



**Рисунок 6. Типичный метаемый элемент (а) и его осциллограмма (б)**



**Рисунок 7. Метаемая сборка 1 (а) и ее осциллограмма (б)**



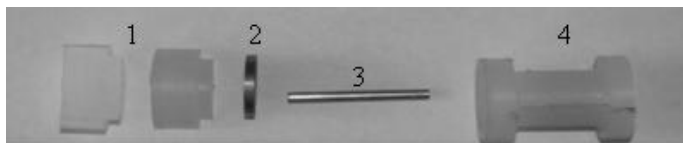
**Рисунок 8. Метаемая сборка 2 (а) и ее осциллограмма (б)**

Анализ осциллограмм может дать информацию о форме метаемого элемента. По рис. 7—8 можно заметить, что форма осциллограммы соответствует определенному сечению метаемого элемента, что объясняется чувствительностью элементов датчика к различным материалам. На рис. 7 б максимум по амплитуде описывает стальную составляющую сборки, а минимум — дюраль.



На рис. 8 б максимум по амплитуде указывает на прохождение стальной части через сечение, а минимум — медного пояска метаемого элемента.

Таким образом, возникает задача обеспечения универсальности и повышения чувствительности ДДС. В ряде случаев проблема решается включением в конструкцию метаемой сборки металлической метки (рис. 9).



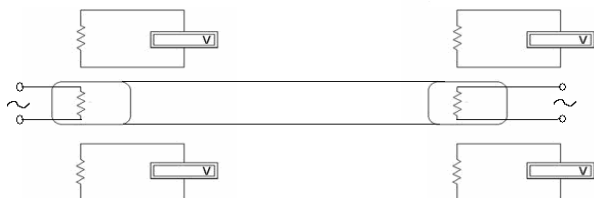
**Рисунок 9. Метаемый элемент медь.**

*Примечание: 1 — полиэтиленовый толкающий поддон, 2 — метка, 3 — метаемый элемент, 4 — центрирующее устройство*

Использование метки, в общем случае, отрицательно сказывается на массогабаритных характеристиках метаемой сборки. В настоящее время при конструировании ДДС используются неодимовые магниты, это позволяет увеличить напряженность магнитного поля в зазоре магнитопровода и как следствие увеличить чувствительность датчиков. В процессе выстрела датчик дульной скорости испытывает значительные перегрузки. Ранее в качестве магнитопровода использовался феррит, достаточно хрупкий материал. Разрушение ферритового магнитопровода значительно снижало характеристики ДДС, ставя под угрозу завершение серии экспериментов. Использование неодимовых магнитов позволило применить стальные магнитопроводы без потери качества сигнала.

Еще одной проблемой регистрации скорости метаемого тела на срезе ствола является широкий диапазон скоростей. Требуется тщательно подобрать сечение рецептора и число витков измерительной катушки с тем, чтобы заведомо перекрывать требуемые диапазоны скоростей. Точность полученной информации напрямую зависит от точности измерения базы датчика (расстояние между сечениями, в нашем случае, как правило, 200 мм) правильности установки рецепторов с измерительными катушками. База датчика ранее определялась геометрически. Предложено в процессе сборки и настройки датчиков скорости контролировать расстояние между сечениями магнитоэлектрическим способом. Для этого изготовлено

приспособление, состоящее из цилиндра, выполненного из диэлектрического материала (рис. 10).



*Рисунок 10. Схема изготовленного приспособления*

В проточки цилиндра укладываются катушки, подключенные к генератору синусоидальных импульсов. Электромагнитное поле, генерируемое катушками приспособления, взаимодействует с магнитным потоком сечений датчика и, в случае не совпадения базы приспособления с базой датчика, мы наблюдаем два разных по амплитуде синусоидальных сигнала с измерительных катушек датчика. В противоположном случае мы получаем совпадение сигналов. Таким образом, можно контролировать расстояние между сечениями датчика дульной скорости в процессе сборки и настройки. Приспособление позволяет контролировать точность установки рецепторов в блокирующем сечении. В случае нарушения угла установки рецептора сигналы с измерительных катушек имеют сдвиг по фазе. Кроме того, приспособление позволяет оценить чувствительность ДДС в заданном частотном диапазоне.

### **Выводы**

Проведенные испытания показали, что разработанная конструкция и технология изготовления ДДС, из титановых сплавов значительно повышают их характеристики и эксплуатационные качества по сравнению с ранее изготовленными датчиками. При этом амплитуда эффективного сигнала увеличена, период эффективного сигнала снижен, масса уменьшилась почти в два раза.

Таким образом, модернизирована конструкция и отработана технология изготовления ДДС из титановых сплавов для экспериментальных и тестирующих баллистических установок различного назначения и разных калибров, не уступающих по эффективности и габаритно-массовым характеристикам лучшим зарубежным образцам [4; 7].

## Список литературы:

1. Авксентьев Ю.И. Крутильный баллистический маятник / Ю.И. Авксентьев, Л.А. Скипетрова. М.: Отдел оперативной печати физического факультета МГУ, 2009. — 29 с.
2. Гарольд Р.В. Факторы точности винтовки / Р.В. Гарольд. Коннектикут, США.: Precision shooting, 2002. — 215 с.
3. Датчик начальной скорости EMG-1 // Компания prototypa.cz. — Электрон. дан. 2015. [Электронный ресурс] — Режим доступа. — URL: <http://www.prototypa.cz/content/emg-1-muzzle-velocity-head> (дата обращения: 21.01.2015).
4. Зеленцов В.В. Многоцелевая баллистическая лаборатория: результаты и перспективы развития / В.В. Зеленцов, А.С. Карнейчик, В.С. Владимиров // Инженерный журнал: наука и инновации. — 2013. — № 3. — С. 21—32.
5. Пат. 2193207 Российская Федерация, 7 G 01 P 3/42. Датчик положения и скорости перемещения быстродвижущихся тел / В.И. Кульпин, С.В. Синяев, Ю.Ф. Христенко; заявитель и патентообладатель Научно-исследовательский институт прикладной математики и механики. опубл. 20.11.2002, Бюл. № 32.
6. Пат. 2331891 Российская Федерация, МПК G01P 3/42. Датчик положения и скорости перемещения быстродвижущихся тел / М.С. Барышев, А.Н. Ищенко, О.Ю. Федосов, Ю.П. Хоменко; заявитель и патентообладатель ГОУ ВПО Томский государственный университет. опубл. 20.08.2008, Бюл. № 23.
7. Пат. США № 3824463, МКИ G01P 3/66, Inductive type velocity measuring apparatus / Smith A. 16.07.1974.