



Национальный
исследовательский

**Томский
государственный
университет**

НИИ ПММ

Электромагнитный датчик пролета и применение парамагнетиков в конструкции метаемого тела



РФЯЦ-ВНИИФ
РОСАТОМ

В.Д. Зорин¹, А.С. Дьячковский¹, Е.А. Черногузова², В.А. Бураков¹, Л.В. Корольков¹

¹ Томский государственный университет НИИ ПММ

² РФЯЦ - Всероссийский научно-исследовательский институт технической физики имени академика Е.И. Забабахина

В баллистических экспериментах часто необходимо фиксировать момент прохода метаемым телом определенного сечения ускорительного канала. Эта потребность как правило связана с синхронизацией регистрирующего оборудования. Одно из технических решений индуктивный датчик.

РОССИЙСКАЯ ФЕДЕРАЦИЯ



ФЕДЕРАЛЬНАЯ СЛУЖБА
ПО ИНТЕЛЛЕКТУАЛЬНОЙ СОБСТВЕННОСТИ

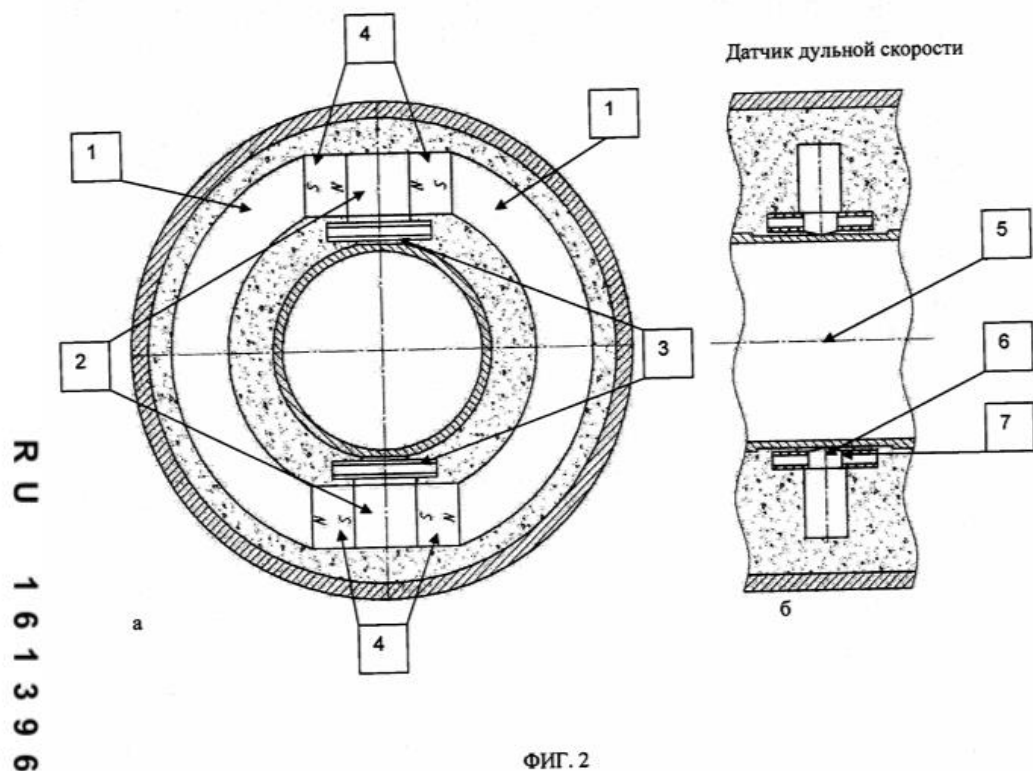
(19) **RU** (11) **161 396** (13) **U1**

(51) МПК
G01P 3/42 (2006.01)
G01P 3/66 (2006.01)

(12) ОПИСАНИЕ ПОЛЕЗНОЙ МОДЕЛИ К ПАТЕНТУ

(21)(22) Заявка: 2015127042/03, 06.07.2015
(24) Дата начала отсчета срока действия патента: 06.07.2015
Приоритет(ы):
(22) Дата подачи заявки: 06.07.2015
(45) Опубликовано: 20.04.2016 Бюл. № 11
Адрес для переписки:
643050, г. Томск, пр. Ленина, 36, НИИ ПММ ТГУ, директору

(72) Автор(ы):
Буркин Виктор Владимирович (RU),
Дьячковский Алексей Сергеевич (RU),
Егоров Александр Леонидович (RU),
Ищенко Александр Николаевич (RU),
Корольков Леонид Валерьевич (RU),
Майстренко Иван Викторович (RU),
Степанов Евгений Юрьевич (RU),
Чупашев Андрей Владимирович (RU),
Рогаев Константин Сергеевич (RU)
(73) Патентообладатель(и):
Федеральное государственное автономное образовательное учреждение высшего образования "Национальный исследовательский Томский государственный университет" (ТГУ) (RU)



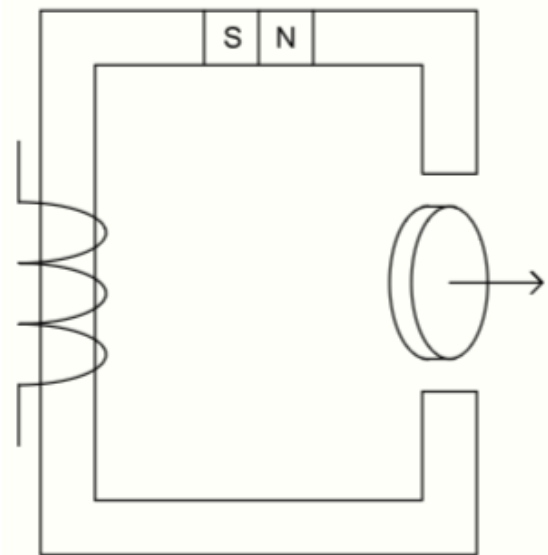
ФИГ. 2

(54) ДАТЧИК ДУЛЬНОЙ СКОРОСТИ



Электромагнитный датчик пролета и применение парамагнетиков в конструкции метаемого тела
В.Д. Зорин, А.С. Дьячковский, Е.А. Черногузова, В.А. Бураков, Л.В. Корольков

Датчик представляет собой дроссель с изменяющимся воздушным зазором δ .



В случае небольшого зазора индуктивность L датчика можно оценить по формуле

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

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

ω — число витков обмотки;

l_M — средняя длина магнитной силовой линии;

S_M и S_0 средние площади сечения сердечника и воздушного зазора;

μ — относительная магнитная проницаемость материала сердечника.

В случае $Z_{mM} \ll Z_{mO}$ формула принимает вид:

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

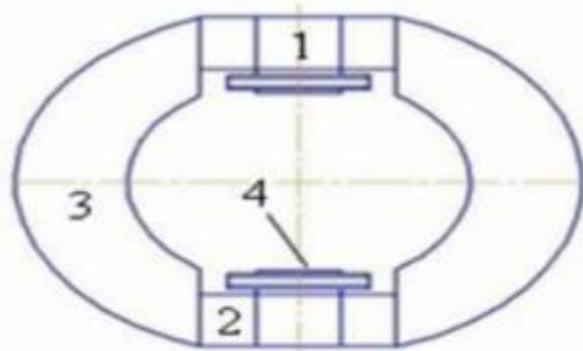
Тогда чувствительность датчика к перемещению y , определяемую отношением изменения ΔL к вызвавшему это изменение $\Delta \delta$, равна:

$$\gamma = \frac{\omega^2 \mu_0 S_0}{2\delta^2}$$

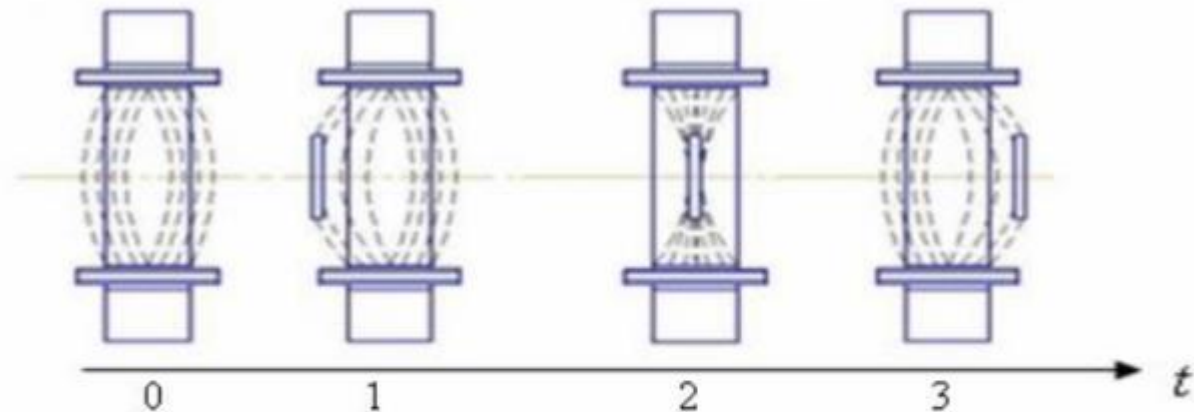
Таким образом, чувствительность обратно пропорциональна квадрату величины воздушного зазора. Поэтому индуктивные датчики особенно чувствительны при малых зазорах. При увеличении зазора зависимость $L=f(\delta)$ становится нелинейной и как следствие амплитуда выходного сигнала значительно снижается. Тем 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.



А



Б

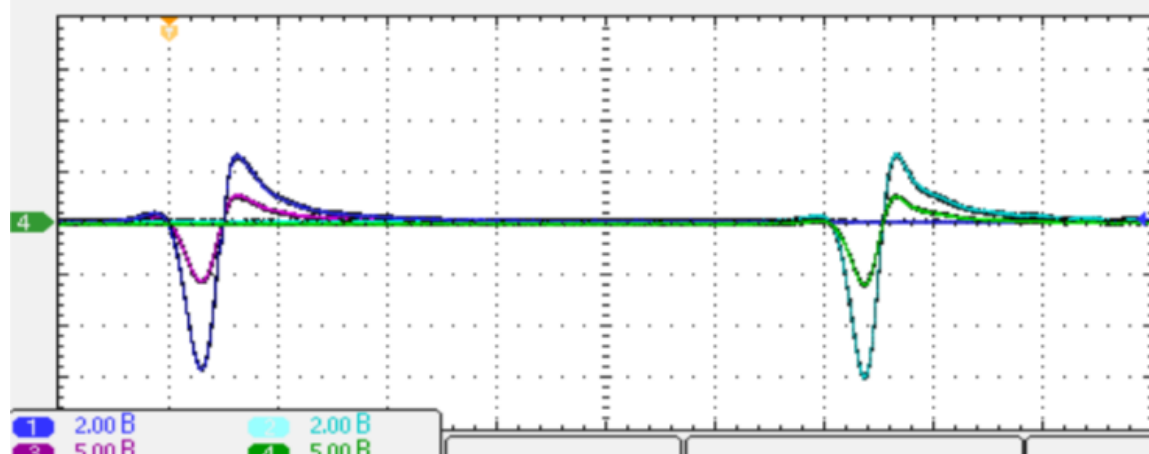
Принцип работы блокирующего сечения датчика дульной скорости.
 А — сечение датчика в фас: 1 — феррит (рецептор), 2 — магнит, 3 — магнитопровод, 4 — измерительная катушка;
 Б — сечение датчика в профиль на различных этапах пролета метаемого элемента

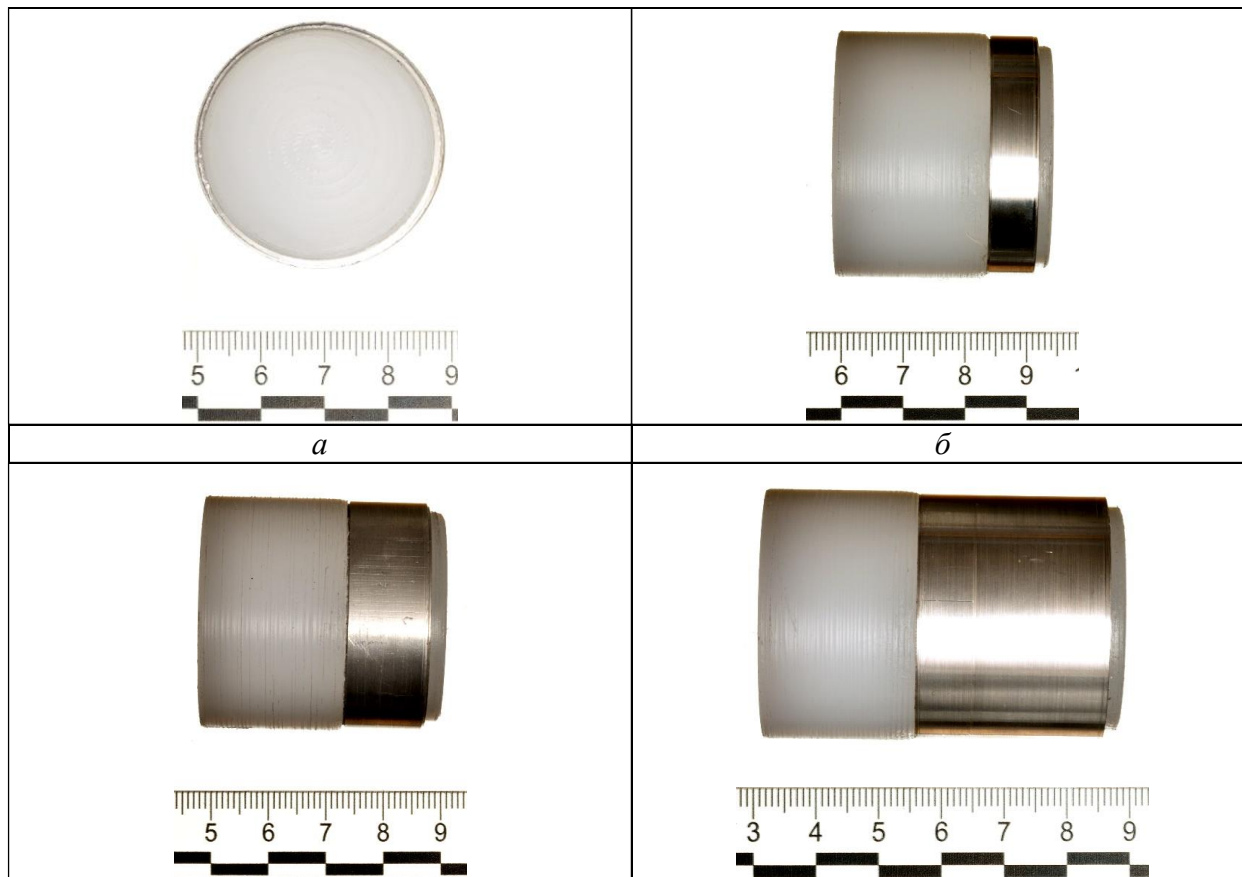
Использование неодимовых магнитов позволило существенно улучшить характеристики используемых датчиков

Для определения момента пролета и оценки скорости метаемого тела на срезе ствола нами используются датчики различных калибров.



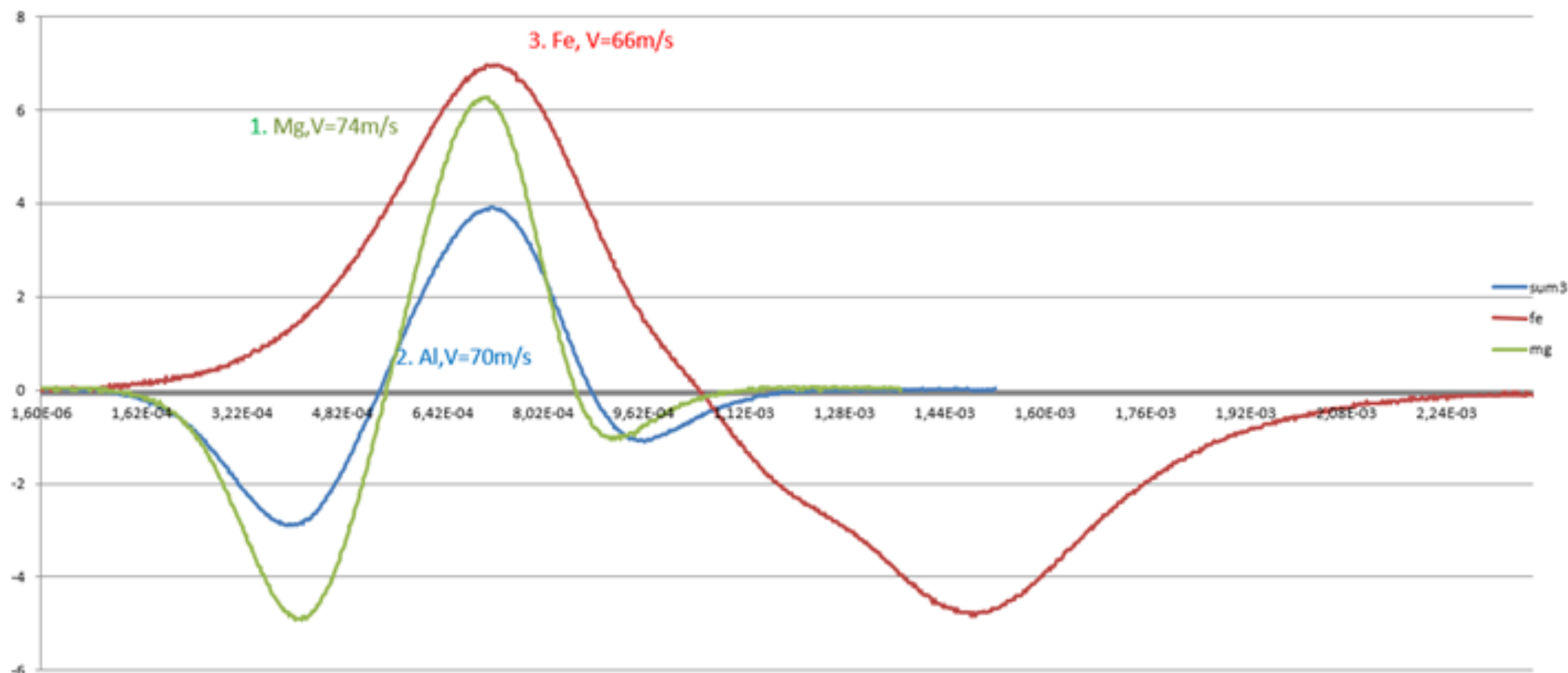
Датчик дульной скорости
Калибр 8 мм
Калибр 45 мм.
Типичная осциллограмма

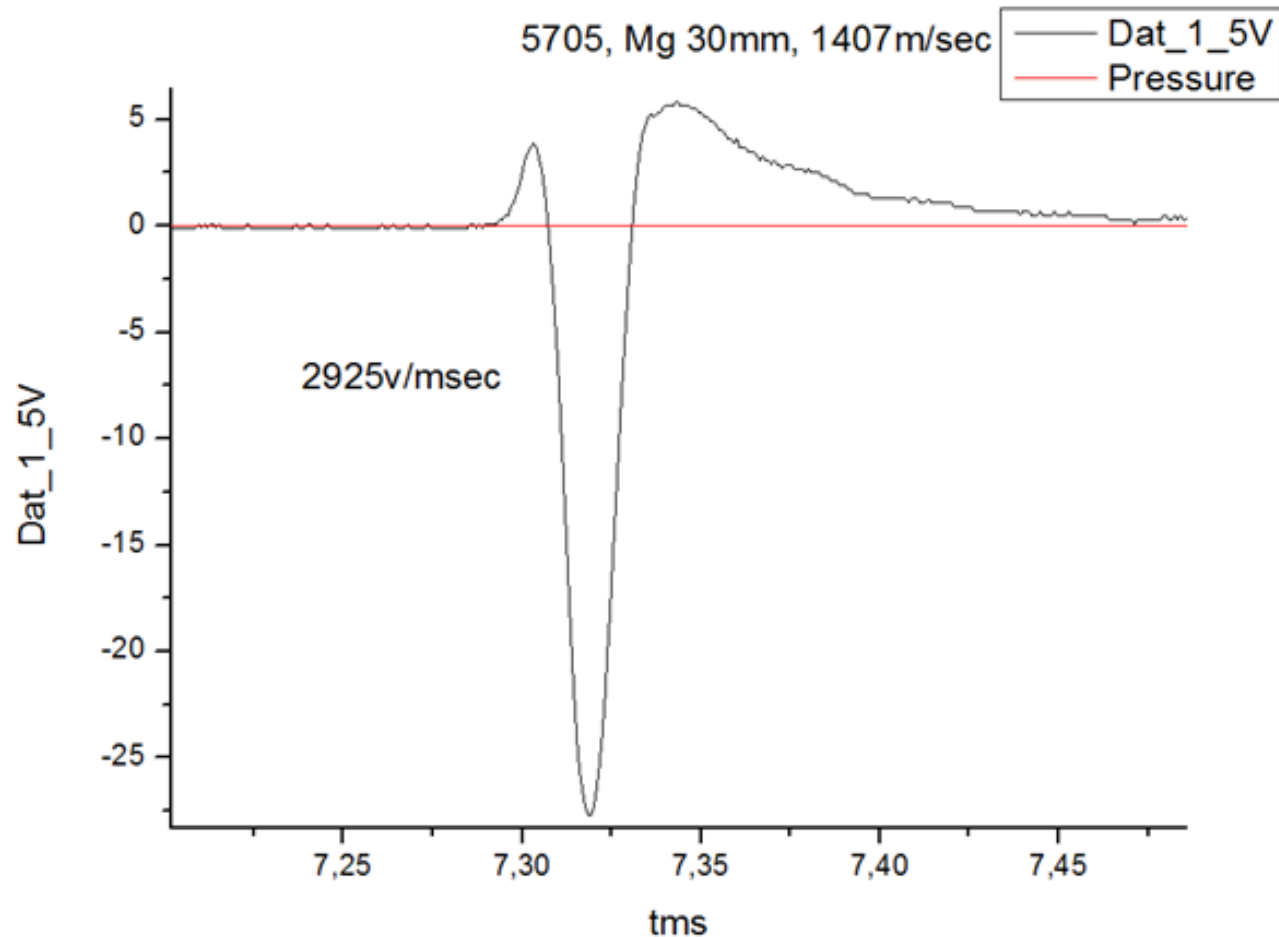




Метаемое тело может включать элементы из разных материалов, включая «метку» — ферромагнитный диск. При пролете метки в магнитном поле датчика изменяется магнитная проводимость участка магнитной цепи, изменение магнитного потока генерирует ЭДС в катушках датчика. Это позволяет фиксировать момент пролета. Для снижения массы метаемого тела используют алюминиевые и магниевые сплавы (парамагнетики). При этом фронт сигнала dU/dt возрастает быстрее, чем у ферромагнетиков. На рис. показаны метаемые тела из парамагнетиков использованные при изучении параметров сигнала от датчика.

Здесь представлены типичные осциллограммы сигналов датчика при использовании различных материалов в конструкции метаемого тела при одинаковом геометрическом факторе метаемого тела и близких скоростях.





На рис. показана осциллограмма сигнала от образца, изготовленного из магниевого сплава МА14 (диаметр 40мм, длина 30мм и скорости 1407м/сек). Скорость нарастания фронта — 2925 В/мс.

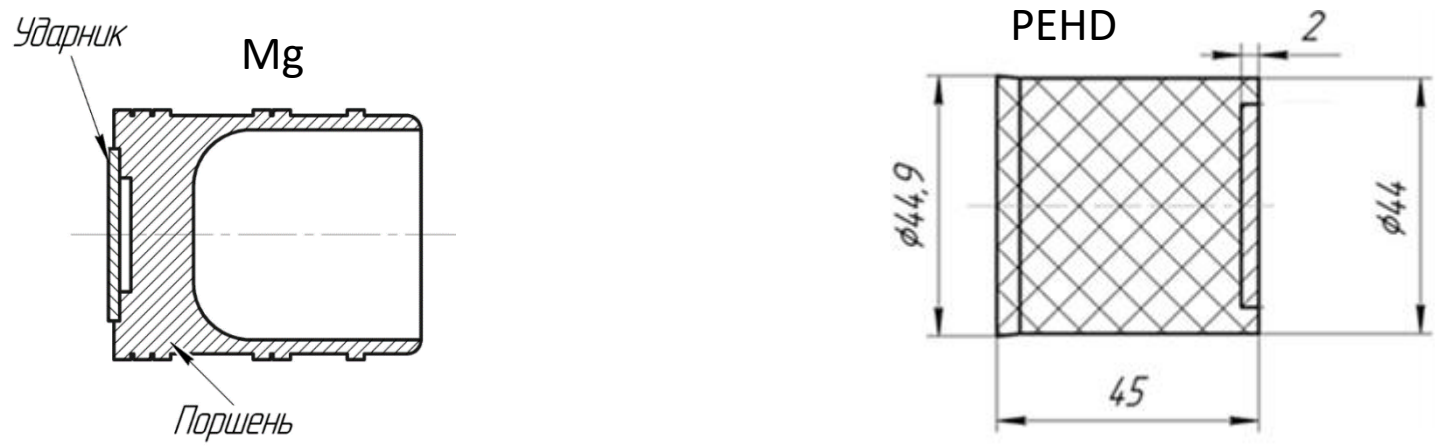
Амплитуда сигнала зависит от скорости и длины тела и при изменении скорости от 400 до 1400м/сек составляет 4 – 25В.



В процессе выполнения экспериментальных работ исследовались следующие задачи:

- проведена серия экспериментов по определению зависимости формы сигнала для различных материалов, размеров метаемого элемента и опробованы различные конструкции электромагнитной системы датчика;
- проведена апробация доработанного датчика пролета на установках НИИ ПММ ТГУ калибром до 40 мм в диапазоне скоростей от 500 до 1500 м/с;
- получены зависимости формы сигнала от материала и размеров метаемого элемента формируемых датчиком пролета.

В ходе испытаний использованы метаемые сборки (МС) из магниевого сплава МА14 – Р56-Л2395.943 и полиэтилена высокого давления, с клеенным во фронтальной части ударниками из стали 12Х18Н10Т диаметром $\varnothing 40$ мм, плотностью $\rho = 7.935$ г/см³. Ударник приклеивался к поршню на эпоксидный клей ЭК-34 (рисунок 1).



Предварительные испытания конструкции электромагнитной системы датчика проводились на баллистическом стволе калибром 44 мм, при скоростях метания до 1.5 км/с. В качестве МС использовалась сборка из полиэтилена с ударником из стали амплитуда сигнала от пролета составила около 300-500 мВ. Для МС из магниевого сплава с ударником из стали – более 40 В.



Экспериментальное блокирующее сечение.
Индукционный датчик пролета.



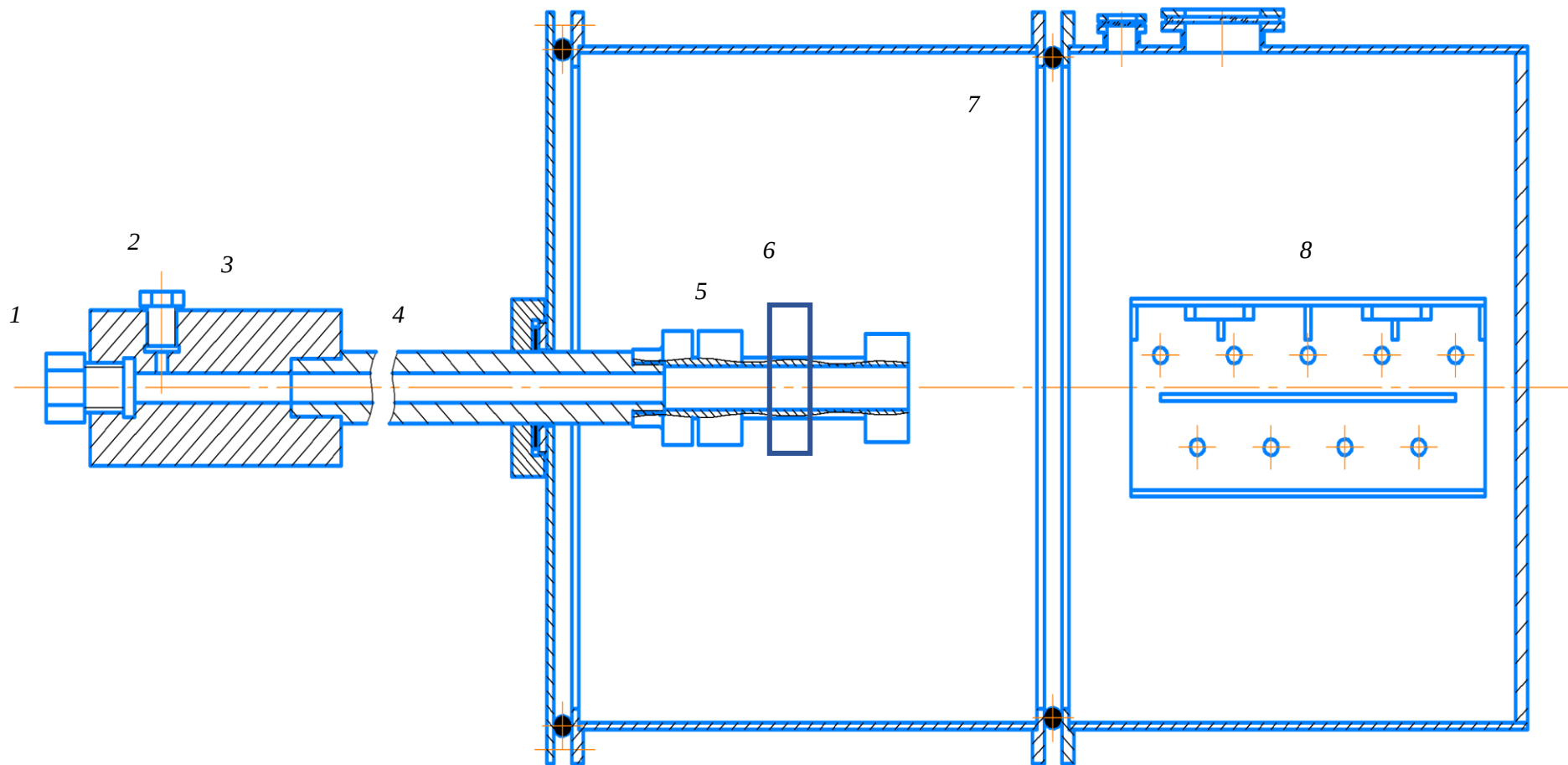
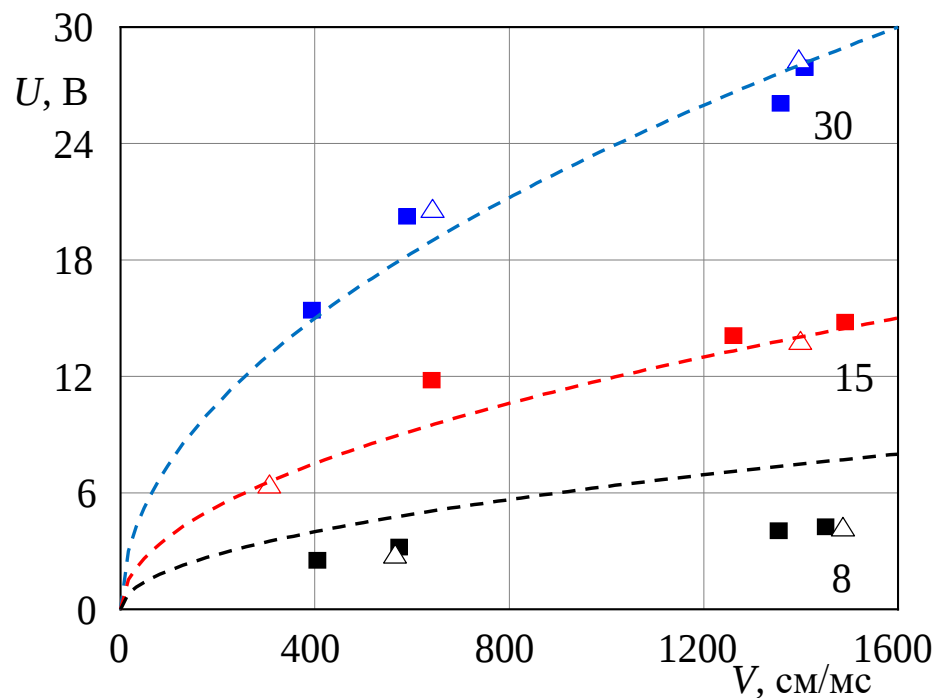


Схема расположения составных частей
баллистической установки

1 – винтовой затвор; 2 – пьезокварцевый датчик давления; 3 – камера заряжания; 4 – баллистический ствол; 5 – индуктивный датчик дульной скорости; 6 – измерительное сечение индукционного датчика пролета; 7 – вакуумный глушитель; 8 – пулеприемник



Δ – Mg; ■ – Al; - - - - - аппроксимация



амплитуда сигнала с индукционного датчика в большей мере зависит от геометрических параметров тела и в меньшей от скорости в исследованном диапазоне скоростей ее можно аппроксимировать зависимостью - $U = 0.025L\sqrt{V}$



Журнал экспериментов (фрагмент)

№	№	Материал ММ	L, мм	V, м/с	U, В	U2, В
1	5710	дюраль	8	405.6	2.52	1.4
2	5677	дюраль	8	573.6	3.2	1.1
3	5678	дюраль	8	1451.3	4.24	2.12
4	5704	дюраль	8	1354.5	4.04	2.16
5	5675	дюраль	15	640.1	11.8	5.5
6	5695	дюраль,	15	1261.0	14.1	6.56
7	5676	дюраль	15	1491.1	14.8	6.3
8	5659	дюраль	30	394.1	15.4	7.1
9	5657	дюраль	30	589.9	20.1	9.24
10	5668	дюраль	30	1358.1	26.1	11.9
11	5705	дюраль	30	1407.6	27.9	12.6
12	5688	магний	8	564.9	2.7	1.2
13	5685	магний	8	1486.7	4.1	2
14	5687	магний	15	306	6.3	3
15	5684	магний	15	1398.7	13.7	6.6
16	5686	магний	30	642.5	20.5	9.4
17	5669	магний	30	1395.8	28.2	11.9



Заключение

В результате экспериментальных исследований проведена отработка технических решений, конструкция датчика адаптирована для задач РФЯЦ-ВНИИТФ. Метаемые тела из дюралюминия Д16Т и магниевого сплава МА14 испытывались на вакуумной (50–120 м/с) и пороховой (400–1500 м/с) установках. Результаты подтверждают пригодность датчика для синхронизации запуска регистрирующего оборудования.

Результаты были получены в рамках выполнения государственного задания Минобрнауки России, проект № FSWM-2025-0004



Спасибо за внимание!

Электромагнитный датчик пролета и применение парамагнетиков в конструкции метаемого тела

В.Д. Зорин¹, А.С. Дьячковский¹, Е.А. Черногузова²,
В.А. Бураков¹, Л.В. Корольков¹

¹ Томский государственный университет НИИ ПММ

² РФЯЦ - Всероссийский научно-исследовательский институт технической
физики имени академика Е.И. Забабахина



НИИ прикладной математики и механики
Томского государственного университета

634050, Томск, пр. Ленина 36, строение 27
Тел./факс: (3822) 52-96-48,
E-mail: korolkov.leo@rambler.ru

www.tsu.ru

докладчик: Корольков Леонид Валерьевич