

## ИНДУКЦИОННЫЙ ДАТЧИК ДЛЯ ЗАПУСКА РЕГИСТРИРУЮЩЕЙ АППАРАТУРЫ

© 2019 г. С. И. Герасимов<sup>a,b,c,d,\*</sup>, А. В. Зубанков<sup>a,b,\*\*</sup>

<sup>a</sup> РФЯЦ–ВНИИ экспериментальной физики

Россия, 607188, Саров Нижегородской обл., просп. Мира, 37

<sup>b</sup> Саровский физико-технический институт –

филиал Национального исследовательского ядерного университета “МИФИ”

Россия, 607186, Саров Нижегородской обл., ул. Духова, 6

<sup>c</sup> Нижегородский государственный технический университет им. Р.Е. Алексеева

Россия, 603950, Нижний Новгород, ул. Минина, 24

<sup>d</sup> Институт проблем машиностроения РАН – филиал Института прикладной физики РАН

Россия, 603024, Нижний Новгород, ул. Белинского, 85

\*e-mail: s.i.gerasimov@mail.ru

\*\*e-mail: alex-zub52@yandex.ru

Поступила в редакцию 13.09.2018 г.

После доработки 17.10.2018 г.

Принята к публикации 24.11.2018 г.

Рассматривается возможность использования индукционных датчиков для фиксации по времени гиперзвуковых частиц при моделировании соударения высокоскоростных металлических частиц с мишенями. Представлена конструкция индукционного датчика для запуска регистрирующей аппаратуры в атмосфере воздуха. Экспериментально получены результаты по взаимодействию частиц с воздухом.

DOI: 10.1134/S0032816219030042

### ВВЕДЕНИЕ

В настоящее время одной из актуальных задач экспериментальной физики является разработка методов контроля гиперзвуковых частиц  $\varnothing 1–7$  мм.

В работе представлен прибор с индукционным датчиком для бесконтактного определения скорости частиц и запуска оптико-физической аппаратуры в момент пролета ими сечения датчика.

Структурная схема прибора представлена на рис. 1. Магнитная система устройства состоит из постоянного магнита 2 в форме цилиндра  $\varnothing 25$  и высотой 70 мм, изготовленного на основе материала NdFeB [1]. Рабочий зазор магнитной системы составляет 100 мм.

Для регистрации сигналов с датчика служит измерительный тракт. В его состав входит индукционная катушка 3 внешним диаметром 25 и внутренним 3 мм, фильтр высоких частот ФВЧ и входной усилительный каскад  $УК_{вх}$ . Катушка 3 устанавливается напротив постоянного магнита 2 в одной плоскости ортогонально оси полета частиц.

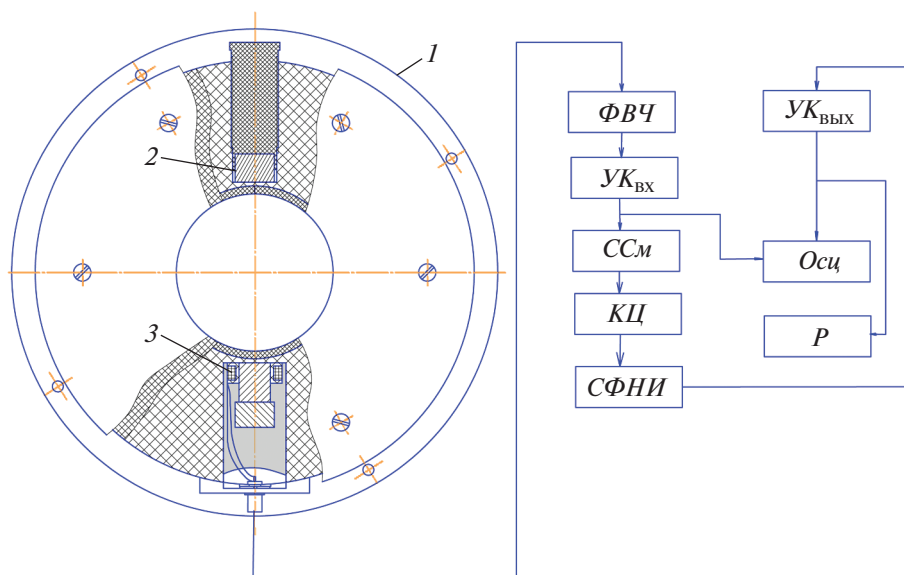
Электрические сигналы с нее во всех опытах записывались на цифровом запоминающем ос-

циллографе *Осц* с дальнейшей обработкой на Э.В.М.

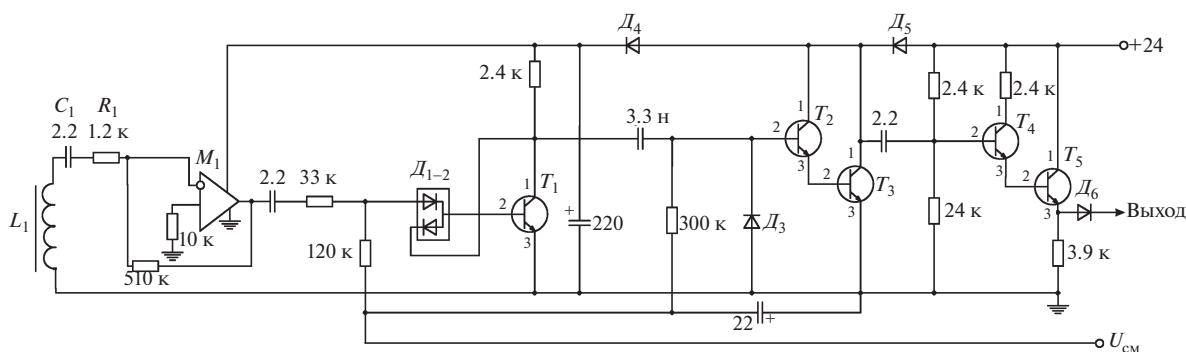
Для формирования сигнала с катушки 3 в нормированный импульс, предназначенный для запуска регистрирующей аппаратуры *P*, служат схема формирования на основе входного усилительного каскада  $УК_{вх}$  с гальванической развязкой, схема смещения нулевого уровня  $ССм$ , корректирующая цепь *КЦ*, схема формирования нормированного импульса *СФНИ* с последующим его усилением с использованием полевых транзисторов  $УК_{вых}$ . Принципиальная схема формирователя нормированных сигналов приведена на рис. 2.

Индукционная катушка  $L_1$  и постоянный магнит размещались строго соосно друг против друга в корпусе 1 (рис. 1). Фильтр высоких частот собран на элементах  $C_1$  и  $R_1$  (рис. 2) с частотой среза  $f_c = 60$  Гц, а входной усилительный каскад – на операционном усилителе  $M_1$ .

При пролете частицей плоскости датчика возбуждается сигнал в катушке  $L_1$ . Появлением одноperiodного колебания на диодах  $D_{1–2}$  осуществляется формирование положительного фронта сигнала, транзисторы  $T_1–T_3$  отпираются на промежуток



**Рис. 1.** Структурная схема прибора. 1 – корпус; 2 – постоянный магнит; 3 – индукционная катушка; ФВЧ – фильтр высоких частот, УК<sub>вх</sub> – входной усилительный каскад, ССм – схема смещения нулевого уровня, КЦ – корректирующая цепь, СФНИ – схема формирования нормированного импульса, УК<sub>вых</sub> – выходной усилительный каскад, Осц – осциллограф, Р – регистрирующая аппаратура.



**Рис. 2.** Принципиальная схема формирователя нормированных сигналов.  $M_1$  – AD822AR;  $T_1, T_2, T_4$  – BC857BW,  $T_3, T_5$  – KT961;  $D_{1-2}$  – MMBD1203,  $D_3$ – $D_6$  – MMBD1201.

времени, необходимый для формирования по длительности и амплитуде нормированного импульса отрицательной полярности. Далее сигнал инвертируется и усиливается в выходном усилительном каскаде ( $T_4$  и  $T_5$ ). Дополнительное смещение сигнала относительно нулевого уровня напряжением минус  $U_{см}$ , величина которого может регулироваться в пределах 0–10 В, необходимо для повышения помехоустойчивости устройства. Такое построение схемы позволяет обеспечить минимальный уровень помех в приемно-регистрирующем контуре, что дает возможность получить истинные сигналы с индукционной катушки  $L_1$  и исключить ложный запуск регистрирующей аппаратуры.

## РЕЗУЛЬТАТЫ ЭКСПЕРИМЕНТОВ

Для бесконтактного определения скорости частицы по траектории ее полета устанавливались в начале и конце мерной базы два датчика, создавая при этом измерительный участок. На рис. 3 представлены зарегистрированные сигналы с индукционных катушек  $ИК_1$  и  $ИК_2$ .

Сигналы с  $ИК_1$  и  $ИК_2$  идентичны по форме и длительности, при этом характерные точки  $A_1$  и  $A_2$  на зависимости  $\varepsilon(t)$ , в которых осуществляется переход через 0 наведенной в индукционных катушках э.д.с., физически соответствуют области с максимальным значением магнитного потока [2, 3].

Вместе с тем, за моменты времени  $t_{ик_1}$  и  $t_{ик_2}$ , соответствующие нахождению частицы в сече-

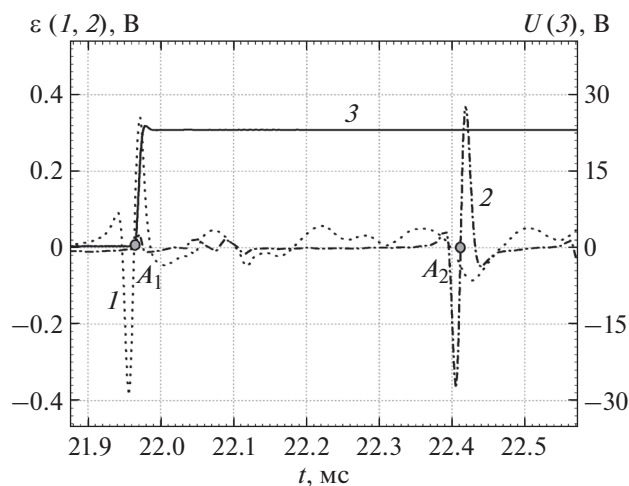


Рис. 3. Сигналы с индукционных катушек (1 и 2); 3 – сигнал *Запуск регистрирующей аппаратуры*.

нии первого и второго датчиков соответственно, приняты характерные точки  $A_1$  и  $A_2$  для определения интервала времени пролета частицей измерительного участка.

Значение скорости частицы при пролете ее через измерительный участок определялось по формуле:  $V = S/\Delta t$ , где  $S$  – расстояние между геометрическими центрами индукционных катушек,  $\Delta t = t_{ИК_1} - t_{ИК_2}$  – интервал времени пролета частицей измерительного участка.

Для определения средней скорости с минимальной погрешностью необходима установка датчиков строго ортогонально линии пролета частиц.

Сигнал *Запуск регистрирующей аппаратуры* (на осциллограмме рис. 3 сигнал 3) был сформирован в момент времени, когда частица находилась в плоскости первого датчика.

### ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Разработанная конструкция датчика позволяет осуществлять запуск регистрирующей аппаратуры на участках, где не допускается использование контактных датчиков.

Полученные экспериментальные результаты подтверждают методику определения средней скорости высокоскоростных частиц способом измерения времени их пролета через измерительный участок, заданный бесконтактными датчиками.

Работа выполнена при поддержке Российского фонда фундаментальных исследований (гранты № 17-08-01096, № 18-08-00715, 18-29-10073).

### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Goto R., Matsuura M., Sugimoto S., Tezuka N., Une Y., Sagawa M. // J. Appl. Phys. 2012. V. 111. P. 07A739.
2. Чечерников В.И. Магнитные измерения. М.: Изд-во МГУ, 1969.
3. Filippov A.V., Rudakova M.A., Skirda V.D. // Magnetic Resonance in Chemistry. 2012. V. 50. № 2. P. 114.