

ЭЛЕКТРОКОНТАКТНАЯ МЕТОДИКА РЕГИСТРАЦИИ x, t -ДИАГРАММ

Н. И. Куракин, В. В. Даниленко, Н. П. Козерук

(Москва)

При проведении различных газодинамических исследований часто возникает задача измерения скоростей свободных поверхностей метаемых тел или скоростей ударных и детонационных волн (УВ, ДВ). Наиболее употребительна для этих целей электроконтактная методика [1]. С ее помощью регистрируются моменты замыкания проволочных или фольговых контактов какой-либо поверхностью (тела, экрана). Величина искомой скорости находится в результате обработки x, t -диаграмм движения изучаемой поверхности или волны. В работе дано краткое описание разработанной авторами модификации электроконтактной методики регистрации подробных x, t -диаграмм с использованием миниатюрного многоконтактного датчика.

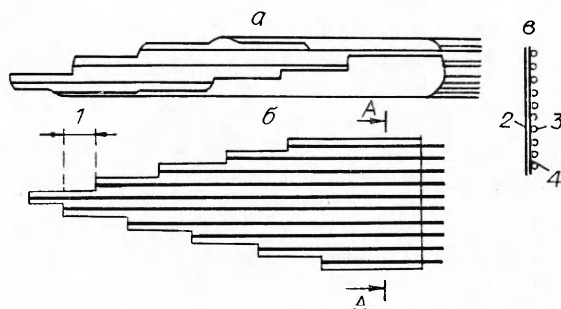
Обычно в измерительных устройствах используются достаточно массивные трубчатые датчики с экранами, защищающими контакты от преждевременного замыкания воздушной УВ. Датчики разных уровней размещаются в разных местах под поверхностью летящего тела (например, пластины), поэтому на точность измерения влияет форма поверхности, замыкающей контакты (например, отклонение поверхности пластины от плоскости в зоне измерений). Уменьшают точность измерений также колебания амплитуды и длительности фронтов электрических импульсов, получаемых при замыкании контактов.

С целью повышения точности и надежности результатов измерений электроконтактная методика усовершенствована. Разработан миниатюрный электроконтактный датчик¹ (рис. 1) — цилиндр из конденсаторной бумаги, по образующей которого наклеены медные проволочки (контакты) из обмоточного провода ПЭВ. Каждая проволочка обрезаается вместе с бумагой на определенную высоту (в зависимости от базы измерения), так что торцы проволочек лежат на спирали (отсюда название датчика — спиральный). Датчик с десятью контактами имеет диаметр 2,3 мм. Предварительно на специально сконструированном намоточном станке готовятся плоские заготовки, которые затем покрываются клеем БФ-2, сворачиваются в цилиндр и в таком виде полимеризуются при температуре 130 °С. Проволочки обрезаются шаблоном, который позволяет изготавливать датчики с колебанием измерительных баз в пределах $\pm 0,015$ мм. Общая толщина бумаги и клея в датчике не превышает 0,04 мм, однако трубчатая форма придает датчику достаточную жесткость.

Большое внимание было уделено выбору расстояний между проволочками датчика, исключающих взаимное влияние контактов друг на друга. При взаимодействии датчика с движущимся телом в последнем

Рис. 1. Многоконтактный датчик.

а) спиральный; б) плоский; в) разрез по АА. 1 — база измерения; 2 — конденсаторная бумага толщиной 0,01 мм; 3) провод ПЭВ-2 диаметром 0,06 мм; 4) клей БФ-2.



¹ Конструкция датчика предложена Е. С. Антоевичем.

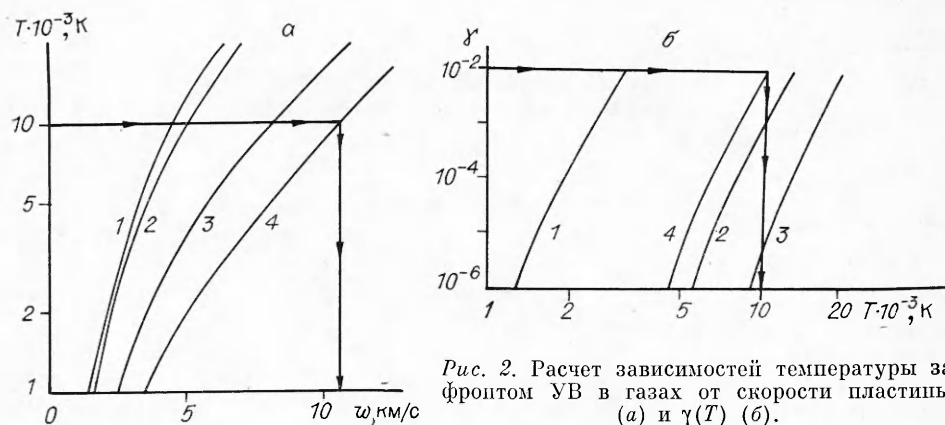


Рис. 2. Расчет зависимостей температуры за фронтом УВ в газах от скорости пластины (а) и $\gamma(T)$ (б).
1 — воздух; 2 — CO_2 ; 3 — гелий; 4 — пропан.

образуется кратер, из которого вылетает струя, содержащая материал движущегося тела и контакта [2, 3]. Она может создать мостик проводимости для соседних контактов и нарушить их работу. По краям кратера образуется валик, поэтому соседний контакт надо удалять настолько, чтобы он попал на невозмущенный участок поверхности.

Проведенные исследования по взаимодействию движущихся тел со стержнями показали, что в зависимости от материалов тела и стержня диаметр возмущенной области достигает величины $d_b = 10d_0$ (d_0 — диаметр стержня, скорость тела ~ 5 км/с). Поэтому для спирального датчика с контактами из провода диаметром 0,06 мм взято расстояние между контактами 0,6 мм, что в 2 раза больше размера возмущенной зоны ($r_b = 5d_0 = 0,3$ мм).

Опыты показали, что вылетающая из кратера струя не может замкнуть или сместить соседний контакт, так как она не непрерывна, а состоит из отдельных частиц, которые не образуют электрической цепи, и по размерам частицы на порядок меньше диаметра контакта. Таким образом, группировка контактов в одном спиральном датчике малого диаметра снижает погрешность измерений, связанную с асимметрией поверхности (каждый датчик регистрирует x, t -диаграмму движения практически одной точки поверхности), упрощает монтаж измерительного узла и увеличивает плотность размещения контактов.

Так как торцы контактов не изолированы (для более надежного замыкания с движущимся телом), работа датчика зависит от ионизации газовой среды, в которой проводятся измерения. Так, для воздуха скорость тела не должна превышать 2,5 км/с. При большей скорости воздух за фронтом УВ, идущей перед движущимся телом, ионизирован настолько, что нарушает нормальную работу контактов (они замыкаются не поверхностью тела, а воздушной УВ).

Для измерений при больших скоростях применена газовая защита спирального датчика, заключающаяся в замене воздуха перед движущимся телом другим газом, с меньшей степенью ионизации за фронтом УВ [4, 5]. Можно использовать гелий (с высоким потенциалом ионизации) или многоатомные газы (углекислый газ, метан, пропан и др.), которые имеют большую теплоемкость и меньше нагреваются в УВ, чем воздух [6, 7, 8]. Для воздуха, углекислого газа, гелия и пропана сделаны оценки температуры и степени ионизации γ газа за фронтом УВ в зависимости от скорости движения в газе изучаемого тела. Полученные зависимости приведены на рис. 2. При проведении измерений в воздухе без защиты контактов для максимально допустимой скорости тела 2,5 км/с

Газ	T, К	w, км/с
Воздух	3 000	2,5
Углекислый газ	12 500	5,5
Гелий	20 000	11
Пропан	10 000	11

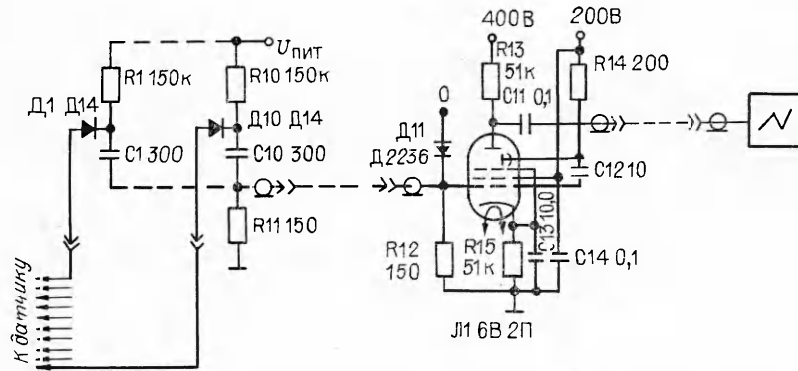
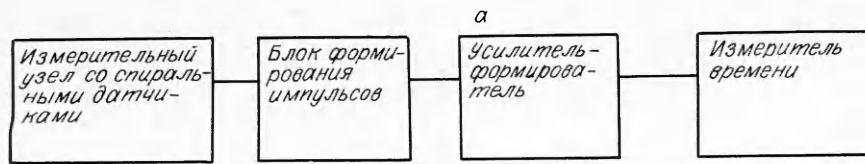


Рис. 3. Блок-схема (а) и электрическая схема (б) одного канала измерительного комплекса.

за фронтом воздушной УВ $T = 3000$ К, $\gamma = 0,01$. Приняв, что и в других газах допустимы измерения открытыми контактами, если $\gamma \leq 0,01$, получим приведенные в таблице значения T и предельных скоростей w , которые можно измерить спиральным датчиком. Практически в эксперименте пространство вокруг датчиков делается замкнутым (по не герметичным) и непрерывно продувается пропан-бутаном.

Для измерений с помощью спиральных датчиков разработан многоканальный измерительный комплекс (рис. 3), имеющий следующие параметры: число измерений в опыте (число контактов) 200 (20 датчиков по 10 контактов или 10 датчиков по 20 контактов); напряжение на контактах 50 В; временное разрешение 50 нс.

Блок формирования импульсов (БФИ) обеспечивает получение коротких выходных импульсов практически постоянной амплитуды независимо от количества сработавших контактов в датчике. Малая длительность импульсов (50 нс) достигается применением конденсаторов малой емкости (150 ÷ 300 пФ), а постоянство амплитуды — введением диодов Д1 — Д10, которые выделяют положительную полуволну колебаний, возникающих из-за паразитных емкостей и индуктивностей в схеме при замыкании контакта, и устраняют влияние ранее сработавших

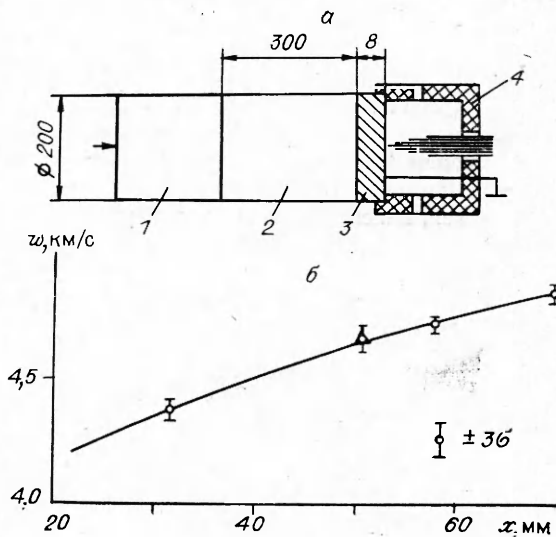


Рис. 4. Постановка эксперимента (а) и зависимость скорости пластины из алюминия от базы полета (б).

1 — линзовый генератор плоской волны; 2 — заряд из ТГ 40/60; 3 — пластина из алюминия; 4 — измерительный узел со спиральными датчиками; ○ — измерения 8 спиральными датчиками в одном опыте; △ — среднее значение скорости, полученное на стандартной методике с трубчатыми контактами (5 опытов).

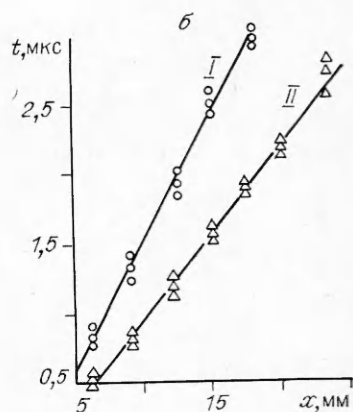
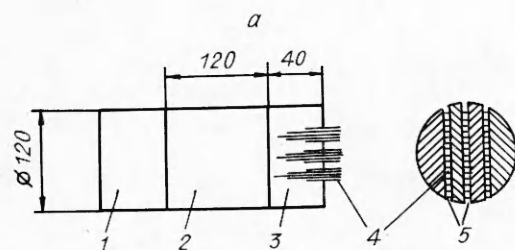


Рис. 5. Схема эксперимента (а) и экспериментальные x, t -диаграммы ударной волны в стали и алюминии (б).

1 — линзовый генератор плоской волны; 2 — заряд из ТГ 30/70, 120×120 мм; 3 — образец; 4 — плоские датчики; 5 — задержка; I — сталь ($D = 5,4$ км/с); II — алюминий ($D = 7,4$ км/с).

контактов на амплитуду формируемых импульсов. Для улучшения формы импульсов БФИ размещается за бронезащитой как можно ближе к датчикам.

При малом напряжении питания датчиков и значительном затухании коротких импульсов при передаче по кабелю чувствительность используемых в комплексе осциллографов ИВ-30М мала для регистрации импульсов от БФИ. Поэтому в канал измерения введен усилитель — формирователь, который генерирует импульс с амплитудой 150 В и длительностью переднего фронта 10 нс. В качестве такого формирователя использована спусковая схема на лампе 6В2П со вторичной эмиссией [9]. Через диод Д11 подается нулевой импульс, относительно которого измеряется время срабатывания контактов датчика.

Ошибка измерения временных интервалов зависит от используемого измерителя времени и точности изготовления баз датчика. При использовании датчиков, изготавливаемых по шаблону, и осциллографов ИВ-30М случайная погрешность измерения временных интервалов не более ± 20 нс.

Для выявления систематической ошибки в одинаковых условиях опыта проведено сравнение измерений с помощью спиральных датчиков с измерениями по общепринятой электроконтактной методике (с экранированными трубчатыми датчиками [4]). Результаты такого сравнения, приведенные на рис. 4, свидетельствуют об отсутствии заметной систематической погрешности в измерениях с помощью разработанной методики. Пример измерений на разработанном комплексе показан на рис. 5.

ЛИТЕРАТУРА

1. Альтшулер Л. В. УФН, 1965, 85(2), 197.
2. Драчев П. М., Морозкин В. И., Потанов И. В. ИФЖ, 1972, 22, 3.
3. Сагомонян А. Я. Проникание. — М.: Изд-во МГУ, 1974.
4. Duff, Honston. J. Chem. Phys., 1955, 23, 7.
5. Goranson, Bancroft et al. J. Appl. Phys., 1955, 26, 1472.
6. Физика быстропотекающих процессов. — М.: Мнр, 1971. — Т. II.
7. Зельдович Я. Б., Райзер Ю. П. Физика ударных волн и высокотемпературных гидродинамических явлений. — М., 1966.
8. Баум Ф. А., Орленко Л. П., Станюкович К. П. и др. Физика взрыва. — М.: Наука, 1975.
9. Глебович Г. В., Моругин Л. А. Формирование импульсов наносекундной длительности. — М.: Сов. радио, 1958.

Поступила в редакцию 1/II 1988