

УДК 621.387.322

МИНИАТЮРНЫЙ ОРБИТРОННЫЙ ВАКУУММЕТРИЧЕСКИЙ ДАТЧИК С ДВОЙНЫМ АНОДОМ

В. А. Коротченко, д.т.н., профессор кафедры ЭП, РГРТУ; Рязань, Россия;
orcid.org/0000-0003-4068-768X, e-mail: ett@rsreu.ru

В. Э. Скворцов, генеральный директор ООО «МЭЛЗ», МО, пос. Запрудня, Россия;
orcid.org/0000-0002-3942-6450, e-mail: videoelektronic@yandex.ru

В. К. Базылев, к.т.н., доцент кафедры ЭП, РГРТУ; Рязань, Россия;
orcid.org/0000-0002-3580-3407, e-mail: bazylev.v.k@rsreu

В. В. Прадед, инженер кафедры ЭП, РГРТУ, Рязань, Россия;
orcid.org/0000-0001-6779-9476, e-mail: ett@rsreu.ru

А. М. Жидков, инженер кафедры ЭП, РГРТУ; Рязань, Россия;
orcid.org/0000-0002-0199-8402, e-mail: zhidkov.a.m.1989@mai.ru

Разработан миниатюрный (объем $\sim 6 \text{ см}^3$) вакуумметрический датчик орбитронного типа, в котором анод выполнен в виде двух вольфрамовых нитей диаметром 70 мкм, параллельных оси прибора и отстоящих от неё на расстоянии 0,5 мм, много меньшем радиуса коллектора ионов (8 мм). Диаметр и длина коллектора – 16 и 30 мм, катода – 70 мкм и 9 мм. Потенциалы коллектора и экрана – нулевые, потенциал анода – 300 В, катода – (5 – 15) В, напряжение накала катода – 1,6 В (при токе 0,76 А), ток электронной эмиссии – 5 мкА. «Двойной анод» применен для термического обезгаживания электродов. Численным моделированием установлено, что траектории электронов имеют спирально-челночную форму (как и при одной нити анода). Радиус спирали – (1 – 6) мм, её шаг – (4 – 8) мм, вращательный и челночный периоды – 6 нс и 30 нс, число оборотов и время движения – 1500 и 7 мкс, длина пути и энергия электронов – 1000 см и (20 – 200) эВ. Экспериментально показано, что манометрическая чувствительность близка к величине 1000 Торр^{-1} , что примерно на полтора порядка выше, чем для вакуумметрического датчика ПМИ-2. Орбитрон с двойным анодом выгодно отличается от этого датчика тем, что у него значительно меньше электронный ток (на два порядка), мощность накала катода (примерно в 5 раз) и рабочий объем прибора (почти в 3 раза).

***Цель работы** заключается в разработке и исследовании высокочувствительного миниатюрного орбитронного вакуумметрического датчика с двойным анодом, позволяющим эффективно обезгаживать электродную систему прибора.*

***Ключевые слова:** вакуумметр, ионизационный манометрический преобразователь, орбитронный вакуумметрический датчик, компьютерное моделирование, движение электронов.*

DOI: 10.21667/1995-4565-2021-77-121-123

Введение

Разработанный авторами ранее [1] миниатюрный орбитронный вакуумметрический датчик обладает рядом несомненных достоинств. Основные из них – высокая манометрическая чувствительность (2000 Торр^{-1}), малые значения электронного ионизирующего тока (5 мкА), мощности накала катода ($\sim 1 \text{ Вт}$) и рабочего объема датчика ($\sim 6 \text{ см}^3$). Приведенные параметры на порядки или кратно лучше, чем для наиболее распространенного в вакуумной технике манометрического преобразователя ПМИ-2 [2]. Вместе с тем при экспериментальном исследовании миниатюрного орбитрона обнаружилось существенное влияние газовыделения электродов на результаты измерений, что указывало на необходимость принятия специальных мер для эффективного обезгаживания электродной системы.

Практически для всех типов термоэлектронных ионизационных манометрических преобразователей анод обезгаживается разогревом путем пропускания через него электрического тока. Такое техническое решение применялось и в орбитроне, в котором тонкий (130 мкм с длиной около 15 см) танталовый анод разогревался током около 0,5 А до температуры более

900 °C [3]. Однако конструкция орбитрона при этом была достаточно сложной, и практически непригодной для массовых промышленных вакуумметрических датчиков.

Кроме термического обезгаживания анода для дегазации применяют электронную бомбардировку (например, в датчике MP3DR фирмы TELEVAC и в датчике AIGX) при сравнительно больших величинах напряжения и тока (500 В и 20 мА), что невозможно осуществлять в орбитронах, для которых характерны малые (5 мкА) значения тока эмиссии катода.

Цель работы заключается в разработке и исследовании миниатюрного орбитронного вакуумметрического датчика, конструкция анода в котором позволяет нагревать его электрическим током и эффективно обезгаживать электродную систему.

Конструкция опытного образца орбитрона

В основу опытного образца орбитрона положена исследованная ранее конструкция [1], в которой электрическое поле формируется двумя коаксиальными цилиндрами длиной 30 мм. Наружный электрод ($\varnothing$ 16 мм) имеет нулевой потенциал и является коллектором ионов, а внутренний ($\varnothing$ 0,5 мм) находится под потенциалом 300 В и служит анодом. Такая электродная система характерна для всех описанных в литературе орбитронов. Главное отличие новой разработки заключается в том, что анод в ней выполнен в виде петли длиной 30 мм из вольфрамовой проволоки диаметром 70 мкм. Боковые участки петли (далее – анодные нити) параллельны оси орбитрона и отстоят от неё на расстоянии 0,5 мм, много меньшем диаметра коллектора. Вершина петли закреплена на торцевом диске коллектора с помощью изолятора и растягивающей пружины, а концы соединены с вводами ножки. Такую конструкцию анода далее будем называть «двойной анод». Изображение электродной системы исследуемого орбитрона представлено на рисунке 1.

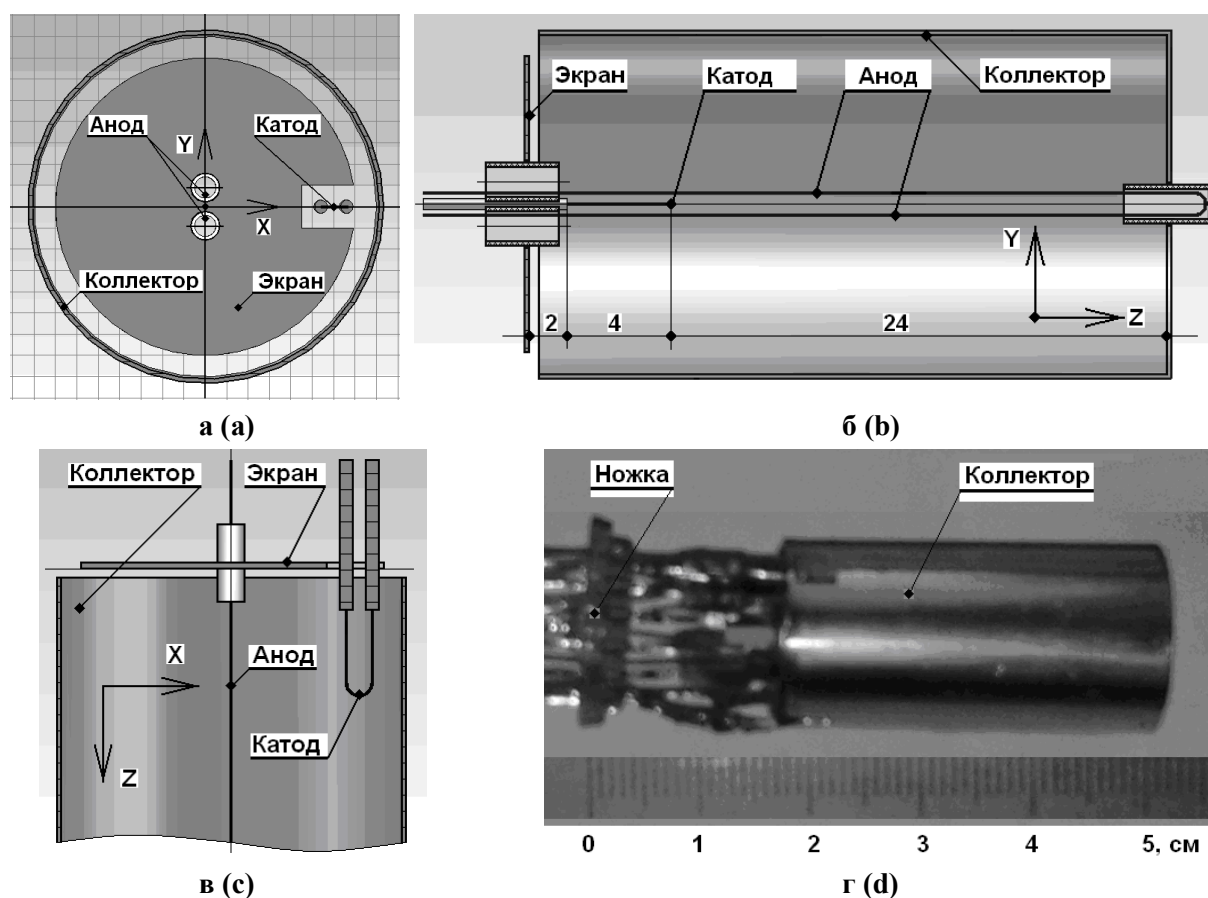


Рисунок 1 – Электродная система опытного образца орбитрона:

а, б, в – проекции на плоскости X – Y, Y – Z и X – Z (цифры – значения расстояния между точками, мм); г – внешний вид опытного образца орбитрона

Figure 1 – Electrode system of test orbitron: a, b and c – projections on plates X – Y, Y – Z and X – Z (numerals – values of distance between the dots, mm); d – system appearance

На рисунке 1, а показано сечение электродной системы в плоскости X-Y (шаг масштабной сетки 1 мм). Анодные нити параллельны оси Z и изолированы от экрана и торцевого диска коллектора с помощью керамических втулок (рисунок 1, б). Между втулкой и вершинной анодной петли установлена пружина, обеспечивающая натяжение нитей (на рисунке не показана). Торцевой диск выполнен из сеточного полотна для улучшения газообмена между внутренним объемом коллектора и вакуумной системой. Прямокальный катод изготовлен из вольфрамовой проволоки диаметром 70 мкм и длиной 9 мм (рисунок 1, в). Концы катода крепятся к держателям ($\varnothing$ 0,5 мм), которые выступают над экраном на 2 мм (расстояние между их центрами 1,5 мм). Вершина катода находится на расстоянии 6 мм от экрана и от оси Z. Внешний вид опытного образца орбитрона показан на рисунке 1, г.

Компьютерное моделирование движения электронов

Двойной анод позволяет разогревать его электрическим током с целью эффективного термического обезгаживания электродной системы. Однако положительный эффект, очевидно, может быть достигнут, если изменение электрического поля при переходе от одной анодной нити к двум будет сравнительно малым, не приводящим к резкому снижению манометрической чувствительности орбитрона. Для оценки такой возможности проведено численное моделирование движения электронов в разработанном орбитроне с двойным анодом, которое показало, что электроны в нем могут перемещаться по стабильным траекториям. Одна из них (при потенциале анода +300 В, катода +15 В и нулевых потенциалах коллектора и экрана) приведена на рисунке 2 для начального отрезка времени около 600 нс.

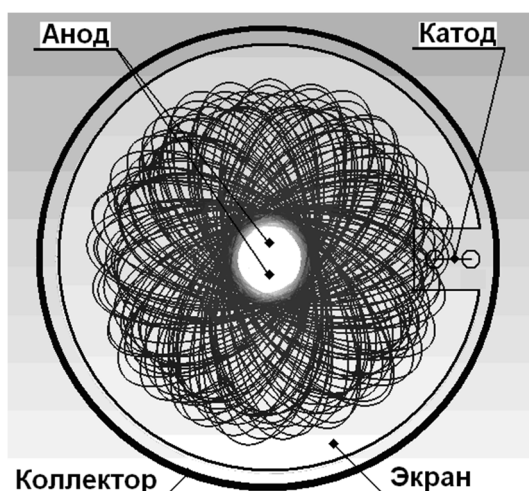


Рисунок 2 – Начальный участок спирально-челночной траектории (~ 100 оборотов)

Figure 2 – Start piece of electron spiral-shuttle trajectory (~ 100 turns)

Изображение представляет собой вид (в направлении, нормальном к плоскости X-Y) трехмерной спирально-челночной траектории движения электрона. Траектория в основном соответствует детально проанализированной нами ранее для подобной конструкции орбитрона с анодом в виде одиночного отрезка проволоки [4]. Она имеет лепестковую спирально-челночную форму со следующими параметрами: расстояние до оси Z – (1 – 6) мм (радиус траектории), длина спирали около 20 мм, её шаг – (4 – 8) мм, период вращения ~ 6 нс, челночный период ~ 30 нс. Выбранный отрезок времени 600 нс приблизительно соответствует 100 виткам спирали и 20 челночным периодам. Полная траектория, полученная в ходе моделирования, содержит более 1000 витков. Изобра-

жение такой траектории не представлено, поскольку на нем практически невозможно проследить движение частицы на отдельных витках. Основная особенность траектории на рисунке 2 – эллипсообразный контур области, в которой электроны огибают анодные нити (при одиночном аноде он имеет круговую форму).

Более детально траекторию характеризуют зависимости радиуса траектории от времени для трех отрезков времени: (0 – 100) нс, (1000 – 1100) нс и (5000 – 5100) нс (рисунок 3). Из рисунка следует, что на начальном участке (до 100 нс) радиус траектории периодически изменяется в интервале (1 – 6) мм (напомним, что радиус коллектора ионов – 8 мм). Через каждые четыре периода наблюдается небольшой рост радиуса, связанный с реверсным изменением направления осевой составляющей скорости движения электрона. Среднее значение периода колебаний равно 4,2 нс, что меньше периода вращения частицы 6, 25 нс, условно

определяемого по моменту её прохождения через точку с координатой $Y = 0$ (значение при старте). Разность периодов определяет формирование лепестковой структуры траектории, при которой электрон каждый раз приближается к коллектору с азимутальным смещением (со сдвигом фазы) относительно предыдущего сближения.

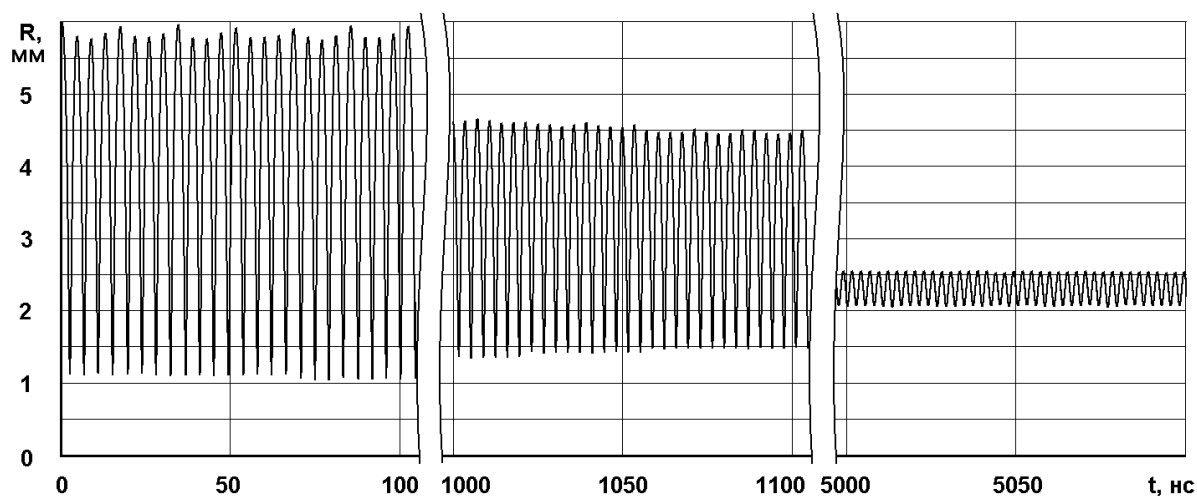


Рисунок 3 – Зависимости расстояния между электроном и осью орбитрона (радиуса траектории) от времени движения частицы при потенциале катода 15 В. Общее время 7597 нс ограничено в модели заданным числом временных шагов (10^7 с числом элементов расчетной сетки $2 \cdot 10^6$)

Figure 3 – Electron distance from axe Z (radius trajectory) versus moving time at filament potential 15 V. Total time 7597 ns restrict by the amount of time steps (10^7 at quantity of calculate grid cells $2 \cdot 10^6$)

В интервалах (1000 – 1100) нс и (5000 – 5100) нс характер движения в основном сохраняется, но разность максимальных и минимальных значений радиуса уменьшается. Происходит условное «азимутальное нивелирование траектории», наблюдаемое ранее в системе с одионарным анодом [4]. Значение радиуса траектории стабилизируется на уровне 2,25 мм с небольшими (около $\pm 10\%$) отклонениями, что отражает переход от лепестковой формы траектории к круговой. Средняя установившаяся энергия электрона равна 46 эВ (при анодном напряжении 300 В), что достаточно для эффективной ионизации газовых молекул.

Зависимость времени движения электронов от потенциала катода представлена на рисунке 4. Зависимость получена численным моделированием для электронов, которые стартуют с центра катода с начальной скоростью, направленной по оси Y (для тепловой энергии 0,25 эВ, соответствующей температуре эмиттера 2000 К). Потенциал анода +300 В, потенциалы коллектора и экрана равны нулю. Напряжение накала катода при моделировании не учитывалось. Потенциал катода изменялся от 8 В до 22 В с шагом 0,5 В, который вблизи резких изменений зависимости уменьшался до 0,1 В.

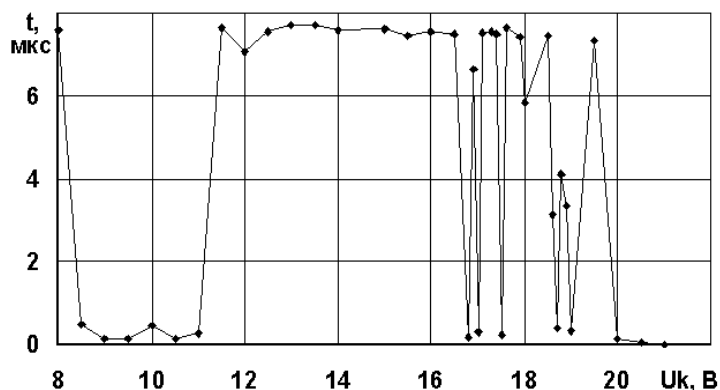


Рисунок 4 – Зависимость времени движения электронов от потенциала катода

Figure 4 – Electron flight time versus filament potential

Максимальное время расчета движения частицы (около 7 мкс для «стабильной» траектории, без ухода на анод) ограничивалось заданным числом временных расчетных шагов, равным 10^7 (число элементов расчетной сетки $\sim 2 \cdot 10^6$). Если электрон завершал движение на аноде за время менее 7 мкс, расчет автоматически прекращался и по моменту остановки расчета определялось время движения частицы («время жизни» или «время пролета» [5]).

Как следует из рисунка 3, в интервале потенциалов катода (11,5 – 16,5) В время движения электронов близко к 7 мкс, что соответствует «стабильным» траекториям (без ухода на анод). Это свидетельствует об эффективной работе орбитронной электронной ловушки и подтверждает возможность получения высокой манометрической чувствительности прибора.

Экспериментальное исследование опытных образцов орбитрона

Цель экспериментов заключалась в определении основных манометрических параметров разработанного орбитронного вакуумметрического датчика с двойным анодом. Электродная система орбитрона, собранная на стеклянной ножке, закреплялась на вводах металлического фланца стальной вакуумной камеры, которая откачивалась форвакуумным и магниторазрядным насосами. Давление газа в камере изменялось при постоянной откачке путем напуска азота через игольчатый натекаль и измерялось с помощью вакуумметра ВИ-14 с датчиком ПМИ-27, расположенным в непосредственной близости от орбитрона. Электрическая схема включения датчика и методика экспериментов приведены в нашей предыдущей работе [1].

На первом этапе исследования снималась зависимость тока коллектора ионов орбитрона от потенциала катода при неизменном давлении остаточных газов (0,37 мкТорр) и ионизирующем электронном токе 5 мкА, который обеспечивался стабилизированным постоянным напряжением накала катода 1,6 В при токе 0,76 А и потенциалом анода 300 В. Экран соединялся с нулевой точкой схемы.

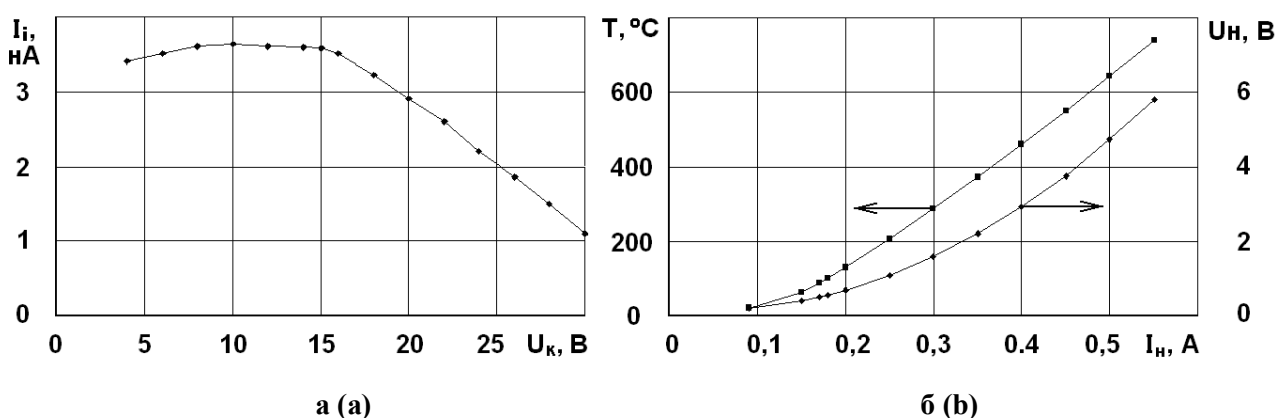


Рисунок 5 – Зависимости ионного тока от потенциала катода при давлении 0,37 мкТорр, токе электронов 5 мкА (а); температуры анода и напряжения накала от тока накала анода (б)
Figure 5 – Ion current versus filament potential at pressure 0,37 μ Torr, electron current 5 μ A (а); anode temperature and heat voltage versus anode heat current (b)

График зависимости, представленный на рисунке 5, а, хорошо коррелирует с результатами моделирования движения электронов (рисунок 4) – большие значения ионного тока зарегистрированы при потенциалах катода в интервале (5 – 15) В. Повышение потенциала более 15 В ведет к уменьшению ионного тока в результате снижения разности потенциалов между катодом и окружающим его пространством, которая определяет азимутальную и осевую составляющие начальной скорости электронов. Величина потенциала катода 15 В выбрана для вакуумметрического режима опытного образца орбитрона.

На рисунке 5, б приведены в зависимости от тока накала анодных нитей (соединенных последовательно) значения их температуры и напряжения накала. Температура рассчитывалась по сопротивлению нитей, которое по мере нагрева от 25 °С до 740 °С увеличивалось в интервале (2,2 – 10,5) Ом. Расчет выполнен с помощью температурной зависимости сопро-

тивления вольфрама в диапазоне $(20 - 800)^\circ\text{C}$, приведенной в [6] (среднее значение температурного коэффициент сопротивления $5,2 \cdot 10^{-3} 1/^\circ\text{C}$). С учетом данных, представленных на рисунке 5 б, были выбраны электрические параметры режима обезгаживания анода (ток и напряжение накала 0,5 А и 5 В, время до спада интенсивного газовыделения – 30 мин).

Экспериментальная зависимость тока коллектора ионов опытного образца орбитрона от давления азота (рисунок 6) получена при потенциале анода 300 В, потенциале катода 15 В и нулевых потенциалах коллектора и экрана. Электронный ионизирующий ток 5 мкА, измеряемый в цепи катода, поддерживался неизменным путем регулировки тока накала катода (около 0,76 А при напряжении 1,6 В). Совместно с графиком зависимости ионного тока от давления газа на рисунке 6 приведена кривая изменения манометрической чувствительности орбитрона, которая рассчитывалась как отношение ионного тока к произведению давления газа на ток электронов.

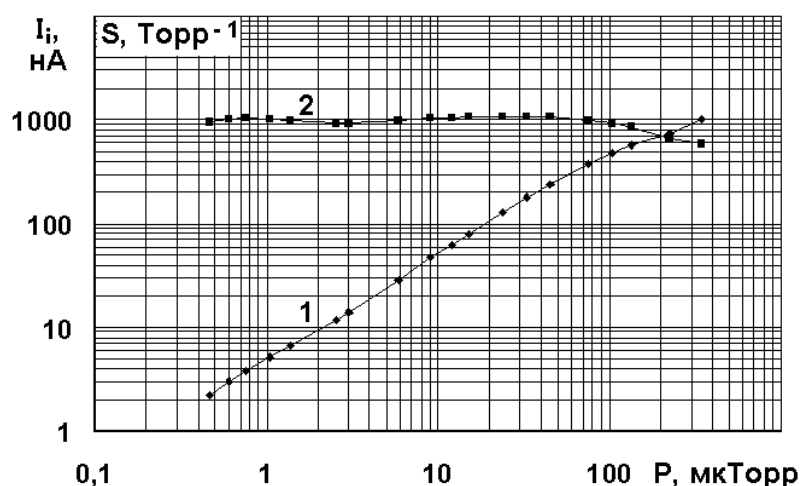


Рисунок 6 – Экспериментальные зависимости ионного тока I_i (1) и манометрической чувствительности S (2) от давления азота при токе электронов 5 мкА и нулевом потенциале экрана

Figure 6 – Experimental dependences of ion current I_i (1) and manometer sensitive S (2) on nitrogen pressure at electron current 5 μA and zero screen potential

Из рисунка 6 (кривая 1) следует, что ионный ток орбитрона I_i приблизительно линейно увеличивается с ростом давления азота в диапазоне $(0,4 - 350)$ мкТорр. Наибольшая величина ионного тока в конце диапазона – около 1 мкА, что меньше электронного ионизирующего тока 5 мкА (классическое условие работы ионизационного вакуумметра), но приближается к нему, что является одной из причин нарушения линейности графика (вместе с возможным искажением распределения потенциала пространственным зарядом электронов).

Манометрическая чувствительность S орбитрона с двойным анодом близка к величине 1000 Torr^{-1} в интервале $(0,4 - 100)$ мкТорр, что примерно на полтора порядка выше, чем у наиболее распространенного датчика ПМИ-2 [2], но в два раза меньше, чем у миниатюрного орбитрона с анодом в виде одного отрезка проволоки [1]. Такое снижение чувствительности можно считать приемлемым для практики, поскольку чувствительность остается достаточно высокой и при этом обеспечивается эффективное обезгаживание электродов манометра с соответствующим повышением достоверности результатов измерений. В сравнении с преобразователем ПМИ-2 разработанный орбитрон с двойным анодом выгодно отличается также тем, что у него на два порядка меньше электронный ток, в несколько раз меньше мощность накала катода и существенно (в 2,5 раза) меньше рабочий объем.

В ходе экспериментов исследован опытный образец орбитрона, подобный изображенному на рисунке 1, отличающийся тем, что цилиндрическая часть коллектора ионов выполнена из металлической сетки с ячейками $1,1 \times 1,1$ мм и диаметром проволоки 0,2 мм (прозрачность около 70 %). Переход к сеточному коллектору выполнен с целью уменьшения перепада дав-

ления газа между внутренним объемом манометра и объемом вакуумной камеры. Такой перепад может возникать за счет газовой выделенности деталей или «электрической» откачки газа орбитроном и существенно искажать результаты измерений, если коллектор целиком изготовлен из металлической жести. Кроме того, площадь сеточного коллектора существенно (примерно в 3 раза) меньше, чем сплошного, что позволяет соответственно снизить фоновый ток коллектора, связанный с эмиссией электронов с его поверхности под действием рентгеновского излучения, и повысить пороговую чувствительность манометра.

Сеточный коллектор в опытном образце орбитрона был закрыт снаружи стеклянной трубкой (диаметр 18 мм), чтобы предотвратить уход ионов на стенки металлической вакуумной камеры, имеющей такой же нулевой потенциал, что и коллектор. Предполагалось, что потенциал внутренней поверхности трубки в процессе измерений повышается за счет заряда ионами до уровня (порядка 50 В), достаточного для торможения и возвращения ионов на сетку. Экспериментальные манометрические измерения были проведены также и с заменой стеклянной трубки на металлическую, электрически соединенную с коллектором ионов.

Результаты экспериментов показали, что замена «сплошного» коллектора ионов сеточным, закрытым стеклянной трубкой, не нарушает в основном нормальное функционирование орбитрона. В диапазоне давления газа (5 – 50) мкТорр средние значения манометрической чувствительности составляют 499 Торр^{-1} (для стеклянной трубки) и 895 Торр^{-1} (для металлической). Более малая (примерно на 40 %) величина чувствительности в случае стеклянной трубки, вероятно, определяется тем, что на внутреннюю поверхность трубки попадают не только прошедшие сквозь сетку положительные ионы, но и электроны, эмитированные катодом. В результате потенциал поверхности стекла устанавливается на уровне, при котором обеспечивается равенство потоков ионов и электронов, и ток коллектора ионов оказывается более малым в сравнении со случаем металлической трубки. Уменьшение тока коллектора ионов не является критическим, поскольку манометрическая чувствительность остается достаточно высокой (в 25 раз выше, чем у ПМИ-2).

Заключение

В ходе проведенного исследования получены следующие основные результаты.

1. Разработан и изготовлен опытный образец миниатюрного вакуумметрического датчика орбитронного типа, в котором анод выполнен в виде двух вольфрамовых нитей диаметром 70 мкм, параллельных оси прибора и отстоящих от неё на расстоянии 0,5 мм, много меньшем радиуса коллектора ионов 8 мм. Концы нитей, удаленные от ножки прибора, электрически соединены между собой, а между другими концами в процессе предварительного обезгаживания прикладывается напряжение накала нитей (6 В при токе 0,55 А и температуре 700 °С). Диаметр и длина коллектора ионов – 16 мм и 30 мм, катода – 70 мкм и 9 мм. Потенциалы коллектора и экрана – нулевые, потенциал анода – плюс 300 В, катода – плюс (5 – 15) В, напряжение накала катода – 1,6 В (при токе 0,76 А), ток электронной эмиссии – 5 мкА. Предложенный «двойной анод» позволяет проводить эффективное термическое обезгаживание электродов, необходимое для измерений в области высокого и сверхвысокого вакуума.

2. Численным моделированием установлено, что в разработанном орбитроне траектории электронов имеют лепестковую спирально-челночную форму со следующими параметрами: расстояние до оси – (1 – 6) мм (радиус траектории), шаг спирали – (4 – 8) мм, период вращения ~ 6 нс, челночный период ~ 30 нс. Общее число оборотов электрона ~ 1500 (ограничено заданным числом временных расчетных шагов 10^7), время движения ~ 7 мкс, длина пути около 1000 см, энергия электронов – (20 – 200) эВ. Способность орбитронной ловушки удерживать электроны в течение длительного (до 7 мкс) времени при широком (около 10 В) интервале потенциалов катода, подтверждает возможность получения высокой манометрической чувствительности прибора.

3. Экспериментально показано, что в орбитроне с двойным анодом ток коллектора ионов приблизительно линейно возрастает от 2 нА до 1000 нА при увеличении давления азота в ва-

куумной камере от 0,4 мкТорр до 350 мкТорр. Манометрическая чувствительность в интервале изменений давления (0,4 – 100) мкТорр близка к величине 1000 Torr^{-1} , что примерно на полтора порядка выше, чем для наиболее распространенного вакуумметрического датчика ПМИ-2. Разработанный орбитрон с двойным анодом выгодно отличается от датчика ПМИ-2 тем, что у него значительно меньше электронный ток (на два порядка), мощность накала катода (примерно в 5 раз) и рабочий объем прибора (почти в 3 раза).

Библиографический список

1. **Коротченко В. А., Скворцов В. Э., Базылев В. К., Прадед В. В., Жидков А. М.** Разработка и исследование миниатюрного ионизационного вакуумметрического преобразователя орбитронного типа // Вестник Рязанского государственного радиотехнического университета. 2019. № 64. С. 139-149.
2. **Кузьмин В. В., Левина Л. Е., Творогов И. В.** Вакуумметрическая аппаратура техники высокого вакуума и течеискания. М.: Энергоатомиздат, 1984. 240 с.
3. **Gosselin C. M., Beitel G. A., Smith A.** Study of Low Pressure Application of the Orbitron Ion Gauge. Journal of Vacuum Science & Technology. 1970, vol 7, no. 1, pp. 233-236.
4. **Коротченко В. А., Скворцов В. Э., Базылев В. К., Жидков А. М., Андреасян Т. Н.** Физический механизм функционирования орбитронной электронной ловушки в ионизационном манометре // Вестник Рязанского государственного радиотехнического университета. 2017. № 62. С. 163-170.
5. **Petit B., Feidt M. L.** Theoretical determination of ionization efficiency for an orbitron device and variation with the main working parameters // Journal of Vacuum Science & Technology. 1983, vol. 1. no. 2, pp. 163-167.
6. **Эспе Вернер.** Технология электровакуумных материалов. Том 1 // М.; Л.: Госэнергоиздат, 1962. 632 с.

UDC 621. 387.322

MINIATURE ORBITRON VACUUM GAUGE WITH BINARY ANODE

V. A. Korotchenko, Dr.Sc. (Tech.), full professor, RSREU, Ryazan, Russia;
orcid.org/0000-0003-4068-768X, e-mail: ett@rsreu.ru

V. E. Skvortsov, General manager, MELZ, Zaprudnya; Russia;
orcid.org/0000-0002-3942-6450, e-mail: videoelektronik@yandex.ru

V. K. Bazylev, Dr. Sc. (Tech.), associate professor, RSREU, Ryazan, Russia;
orcid.org/0000-0002-3580-3407, e-mail: ett@rsreu.ru

V. V. Praded, engineer, RSREU, Ryazan, Russia;
orcid.org/0000-0001-6779-9476, e-mail: ett@rsreu.ru

A. M. Zhidkov, engineer, RSREU, Ryazan, Russia;
orcid.org/0000-0002-0199-8402, e-mail: zhidkov.a.m.1989@mai.ru

Miniature (volume ~ 6 cm³) ionization vacuum gauge of orbitron type is developed. The anode of orbitron is made as two wolfram wires with 70 μm diameter, located parallel to gauge axis and being at the distance of 0,5 mm from the axis, much smaller than ion collector radii (8 mm). Diameter and length of the collector are 16 mm and 32 mm, accordingly, of the cathode – 70 μm and 9 mm. Potentials of anode and collector are zero, anode potential is 300 V, cathode potential is (5 – 15) V, cathode burning voltage is 1,6 V at the current of 0,76 A, electron emission current – 5 μA. Binary anode is applied for thermal degasation (gas away) of electrodes. The numerical simulation has shown that electron trajectories have spiral-shuttle form (as at one wire anode). Spiral radius is (1 – 6) mm, step – (4 – 8) mm, rotation and shuttle periods – 6 ns and 30 ns, the number of turns and traveling time – 1500 and 7 μs, path length and energy – 1000 cm and (20 – 200) eV. It was experimentally confirmed that manometer sensitivity is about 1000 Torr⁻¹, that is 1,5 orders of magnitude more than for PMI-2 ion manometer. The orbitron with binary anode is better than PMI-2 manometer because it has considerably less value of electron current (two orders of magnitude), cathode burning power (5 times) and work volume (3 times).

The aim of the paper is the development of a highly sensitive miniature ionization orbitron gauge with binary anode and experimental estimation of test vacuum sensor characteristics.

Key words: orbitron vacuum gauge, numerical simulation, computer modeling, motion of electrons, residual gas pressure measurement.

DOI: 10.21667/1995-4565-2021-77-121-129

References

1. Korotchenko V. A., Skvortsov V. E., Bazylev V. K., Praded V. V., Zhidkov A. M. Razrabotka i issledovanie miniatyurnogo ionizacionnogo vakuummetricheskogo preobrazovatelya orbitronnogo tipa. *Vestnik Rjazanskogo gosudarstvennogo radiotekhnicheskogo universiteta*. 2019, no. 70, pp. 158-168 (in Russian).
2. Kuzmin V. V., Levina L. E., Tvorogov I. V. *Vakuummetricheskai apparatura tekhniki vyisokogo vakuuma i techeiskaniia* (Vacuum measurement apparatus of high vacuum technics and leak find). Moscow: Energoatomizdat. 1984, 240 p. (in Russian).
3. Gosselin C. M., Beitel G. A., Smith A. Study of Low Pressure Application of the Orbitron Ion Gauge. *Journal of Vacuum Science & Technology*. 1970, vol. 7, no. 1, pp. 233-236.
4. Korotchenko V. A., Skvortsov V. E., Bazylev V. K., Praded V. V., Zhidkov A. M., Fizicheskij mekhanizm funkcionirovaniya orbitronnoj elektronnoj lovushki v ionizacionnom manometre. *Vestnik Rjazanskogo gosudarstvennogo radiotekhnicheskogo universiteta*. 2017, no. 62, pp. 163-170 (in Russian).
5. Petit B., Feidt M. L. Theoretical determination of ionization efficiency for an orbitron device and variation with the main working parameters. *Journal of Vacuum Science & Technology*. 1983, vol. 1, no. 2, pp. 163-167.
6. Espe Verner. *Tekhnologiya elektrovakuumnyh materialov. Tom 1* (Technology of electrovacuum materials. Volume 1). Moscow; L.: Gosenergoizdat. 1962, 632 p. (in Russian).