

## Секция 3

## ПРИБОРЫ И ТЕХНИКА ЭКСПЕРИМЕНТА

УДК 64.011.56:535:628.373.8,535:548

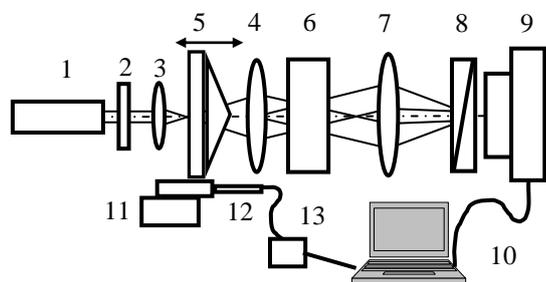
И. В. БАЛЫКИН

## АВТОМАТИЗАЦИЯ МЕТОДА ФОРМИРОВАНИЯ РАДИАЛЬНО ПОЛЯРИЗОВАННОГО СВЕТОВОГО ПУЧКА С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ ДВУОСНОГО КРИСТАЛЛА

Наблюдается рост интереса к световым пучкам, обладающим радиальной поляризацией (векторы электрической составляющей поля лежат на лучах, радиально расходящихся от оптической оси пучка).

Интерес к данным пучкам объясняется, прежде всего, инвариантностью особенностей их отражения от цилиндрических и конических поверхностей даже при больших углах падения, благодаря чему можно производить контроль качества изделий, имеющих аксиальную симметрию с большей точностью, а также формировать аксиально симметричные перетяжки линзовыми системами с высокой числовой апертурой. Радиально поляризованные пучки, сфокусированные объективами с высокой числовой апертурой, имеют в фокусе сильную нераспространяющуюся продольную составляющую электрического поля и могут обеспечить существенно меньшие размеры светового пятна в фокусной плоскости по сравнению с линейно и циркулярно поляризованными пучками, благодаря чему позволяют обеспечить высокую точность лазерной обработки материалов, высокую плотность мощности в месте взаимодействия излучения с веществом. Кроме того, они могут быть использованы для захвата и манипуляции частиц меньших размеров, чем это возможно с пучками, имеющими линейную или циркулярную поляризацию [1].

Ранее было создано устройство для формирования радиально или азимутально поляризованных световых пучков с электронно-механическим узлом, позволяющим осуществлять плавную подстройку угла конусности конического пучка, падающего на кристалл с целью полного преобразования линейно поляризованного светового пучка в радиально или азимутально поляризованный [2]. Схема устройства показана на рис. 1.



**Рисунок 1 – Конструкция устройства для формирования радиально или азимутально поляризованного светового пучка (номерные позиции рисунка описаны в тексте)**

В качестве лазера 1 может использоваться любой лазер, генерирующий монохроматическое излучение. Лазерное излучение должно быть линейно поляризовано. Электрический вектор электромагнитного поля излучения лазера должен быть для определенности ориентирован либо вертикально, либо горизонтально. Поворотом на  $90^\circ$  полуволновой пластинки 2 можно переключать ориентацию вектора с горизонтальной на вертикальную или наоборот. Затем линейно поляризованный световой пучок пропускается через систему из двух положительных линз 3 и 4, составляющих телескоп. Между ними размещается коническая линза (аксикон) 5, формирующая конический световой пучок, проходящий через двуосный кристалл 6, ось X которого лежит в плоскости оптических осей (бинормалей) двуосного кристалла КТР и перпендикулярна той бинормали,

вдоль которой ориентирован кристалл. Ось Y кристалла перпендикулярна оси X кристалла и перпендикулярна плоскости оптических осей (бинормалей) кристалла. Если плоскость колебаний напряженности электрического поля входного пучка параллельна оси X кристалла, на выходе из кристалла получают радиально поляризованный конический световой пучок, если плоскость колебаний напряженности электрического поля входящего светового пучка параллельна оси Y кристалла, на выходе получают азимутально поляризованный конический световой пучок. С помощью положительной сферической линзы 7 конический пучок можно преобразовать в фокусной плоскости линзы в кольцевое поле, характеристики которого, в т.ч. поляризация, определяются посредством поляризатора-анализатора 8 и CCD-камеры 9, сопряженной с компьютером 10. Плавное изменение угла конусности конического пучка достигается перемещением аксикона 5 внутри телескопа с помощью электромеханического узла, состоящего из механического транслятора 11, моторизованного актуатора 12 модели Z825B (производства «Thorlabs», США) и контроллера двигателя 13, сопряженного с компьютером 10. Наличие данного электромеханического узла позволяет механизировать и

упростить процесс подстройки угла конусности пучка, исключив грубые касания, искажающие оптическую схему.

На рис. 2 приведена зависимость мощности радиально поляризованного БСП<sub>1</sub> от угла конусности падающего излучения. Задача оптимизации оптической схемы состоит в подборе значения угла конусности, максимизирующего мощность выходного пучка. Автором работы был разработан программный комплекс, реализованный в среде MATLAB, предназначенный для автоматического осуществления этой процедуры. Идея алгоритма состоит в построении экспериментальной зависимости мощности БСП<sub>1</sub> от угла конусности, ее последующей аппроксимации функцией вида  $\cos^2(x)$  и поиске экстремумов полученной зависимости. Значение угла конусности, соответствующее экстремуму аппроксимации, принимается за оптимальное. Разработанный комплекс позволяет осуществить описанные процедуры полностью в автоматическом режиме.

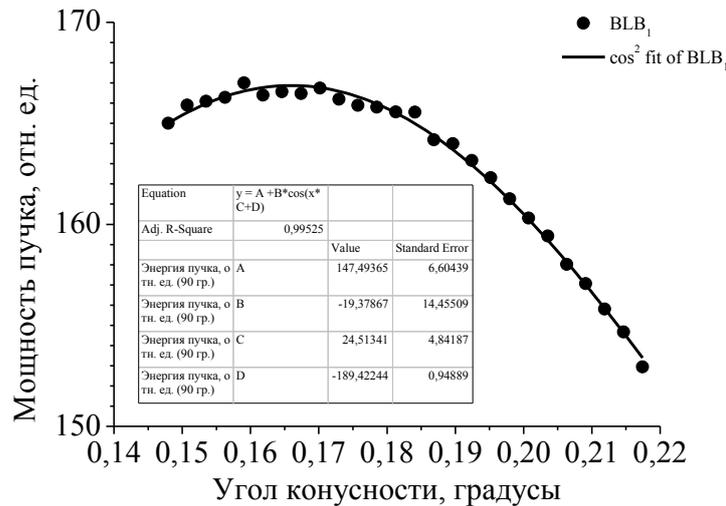


Рисунок 2 – Зависимость мощности радиально поляризованного БСП от угла конусности

На рис. 3 показано распределение интенсивности в поперечном сечении выходного радиально поляризованного конического пучка (рис. 3, а), а также диаметрально распределение интенсивности (рис. 3, б). Последнее достаточно хорошо описывается квадратом функции Бесселя первого порядка.

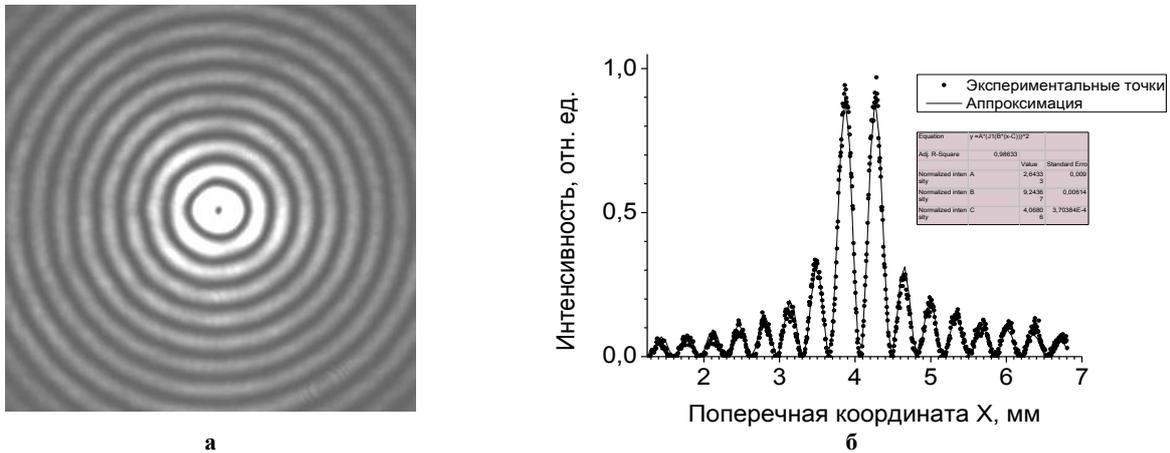


Рисунок 3 – Распределение интенсивности в поперечном сечении выходного пучка с радиальной поляризацией (а) и диаметрально распределение интенсивности (б)

На рис. 3 показано изображение БСП<sub>1</sub>, увеличенное объективом CCD-камеры. Реальный же диаметр осевого кольцевого максимума, измеренный по нулевому минимуму, составляет примерно 20 мкм.

Список литературы

1. Khilo, N. A. A high-efficient method for generating radially and azimuthally polarized Bessel beams using biaxial crystals / N. A. Khilo, Turki S.M. Al-Saud, Soliman H. Al-Khowaiter, Muhanna K. Al-Muhanna, S. V. Solonevich, N. S. Kazak, A. A. Ryzhevich // Optics Communications. – 2012. – Vol. 285, № 24. – P. 4807–4810.

2. Рыжевич, А. А. Закономерности преобразования конических лазерных пучков в двуосном кристалле / А. А. Рыжевич, С. В. Солоневич, Н. А. Хило, И. В. Балыкин // Вес. Нац. акад. навук Беларусі. Сер. фіз.-мат. навук. – 2016. – № 1. – С. 107–116.

We investigated the methods of transformation of coherent monochromatic light beams in biaxial crystals under the condition of conical refraction. Also, we developed the method for determining optimal parameters of optical elements to create a converter that forms radially or azimuthally polarized laser radiation, as well as conical light beams with dislocation of a first-order wave front depending on the material of the used crystal and laser radiation wavelength.

*Балыкин Игорь Валерьевич*, студент 4 курса факультета радиофизики и компьютерных технологий БГУ, Минск, Беларусь, b97@dragon.bas-net.by.

Научный руководитель – *Рыжевич Анатолий Анатольевич*, кандидат физико-математических наук, ведущий научный сотрудник Института физики НАН Беларуси, Минск, Беларусь, tol@dragon.bas-net.by.

УДК 64.011.56:535:628.373.8,535:548

И. В. БАЛЫКИН

### УСТАНОВКА НА ОСНОВЕ ОДНООСНОГО КРИСТАЛЛА ДЛЯ ФОРМИРОВАНИЯ БЕССЕЛЕВА СВЕТОВОГО ПУЧКА ВТОРОГО ПОРЯДКА

В настоящее время наряду с обычными гауссовыми лазерными пучками все более широкое применение находят бesselевы световые пучки (БСП), в том числе БСП высших порядков, имеющих винтовую дислокацию волнового фронта (ВДВФ). ВДВФ обуславливает наличие минимума интенсивности на продольной оси таких пучков, что необходимо для решения ряда прикладных задач. Актуальной является задача поиска эффективных методов формирования БСП высших порядков, радиальное распределение интенсивности в поперечном сечении которых описывается квадратом функции Бесселя второго порядка ( $I(\rho) \sim J_n^2(M\rho)$ , где  $\rho$  – радиальная координата,  $M$  – масштабирующий коэффициент). В данной работе предлагается метод формирования бesselевых световых пучков 2-го порядка (БСП<sub>2</sub>).

Метод формирования БСП<sub>2</sub> основан на поляризационном разделении двух циркулярно поляризованных в ортогональных направлениях собственных волн, возбуждаемых в одноосном кристалле, оптическая ось которого вдоль падающего на него циркулярно поляризованного лазерного пучка [1-2]. Оптическая схема метода показана на рис. 1.

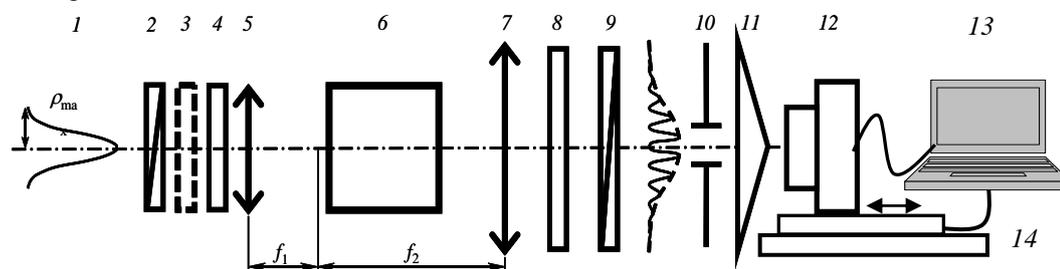


Рисунок 1 – Оптическая схема метода формирования БСП второго порядка

Вначале линейно поляризованный поляризатором 2 исходный лазерный гауссов пучок 1 с помощью последовательно расположенных первой четвертьволновой пластинки 4, одноосного кристалла 6, второй четвертьволновой пластинки 8 и поляризатора 9 преобразуется в линейно поляризованный многокольцевой световой пучок с ВДВФ второго порядка (ВДВФ<sub>2</sub>), причем в этом случае можно достичь достаточно высокой (около 50%) эффективности преобразования. Затем из многокольцевого пучка круглой диафрагмой 10 выделяется однокольцевой световой пучок с ВДВФ<sub>2</sub>, из которого с помощью аксикона (конической линзы) 11 практически без энергетических потерь формируется БСП<sub>2</sub>. Поперечное распределение интенсивности в сформированном БСП<sub>2</sub> регистрируется с использованием CCD-камеры CoolSNAPez 12 (разрешение 1392x1040 пикселей, размеры датчика 9,0x6,7 мм) закрепленной на моторизованной подвижке 14. Подвижка 14 позволяет перемещать CCD-камеру вдоль оси системы. Обработку полученных изображений, а также управление моторизованной подвижкой 14 осуществляет ПЭВМ 13.

Для исследования пространственных распределений интенсивности автором разработан программный комплекс, реализованный в среде MATLAB, осуществляющий последовательность процедур регистрации изображения и перемещения CCD-камеры вдоль оси системы моторизованной подвижкой в автоматическом режиме. Таким образом, из набора поперечных распределений интенсивности строится пространственное.

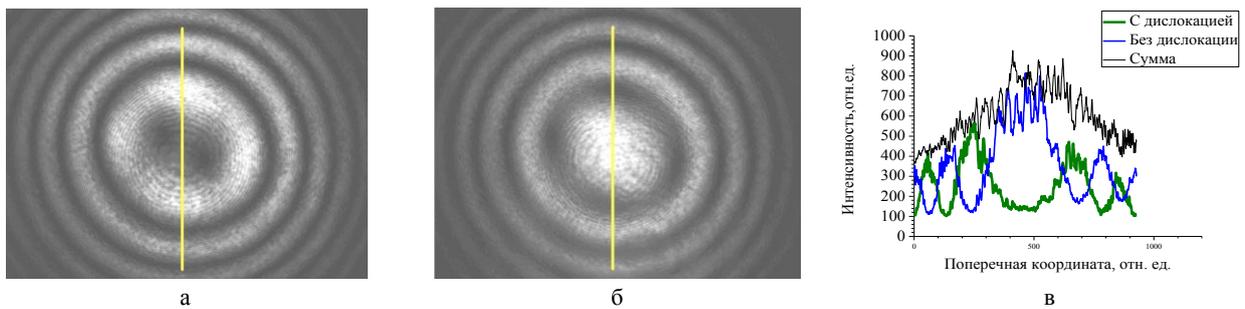
Исследование полученных пространственных распределений интенсивности в выходном пучке позволяет определить области пространства (диапазоны расстояний от выходной апертуры системы) на которых формируемое поле наиболее близко к идеальному БСП, что часто бывает необходимо в практических приложениях.

На рис. 2 показаны диаметральные распределения интенсивности в поперечном сечении многокольцевых пучков, обладающего (рис. 2, а) и не обладающего (рис. 2, б) ВДВФ. Пучки получены при повороте поляризатора 9 относительно поляризатора 2 на 0° и 90° соответственно. Диаметральные линии, вдоль которых снимались распределения интенсивности, обозначены на рисунках 2а, б желтым цветом. Распределения интенсивности в пучках с ВДВФ2 и без нее описываются соответственно формулами (1) и (2):

$$I_2(\rho) = \left(\frac{f_1}{f_2}\right)^2 I_0\left(\frac{f_2}{f_1}\rho\right) \sin^2\left(\frac{\Delta k L}{2}\right) \quad (1)$$

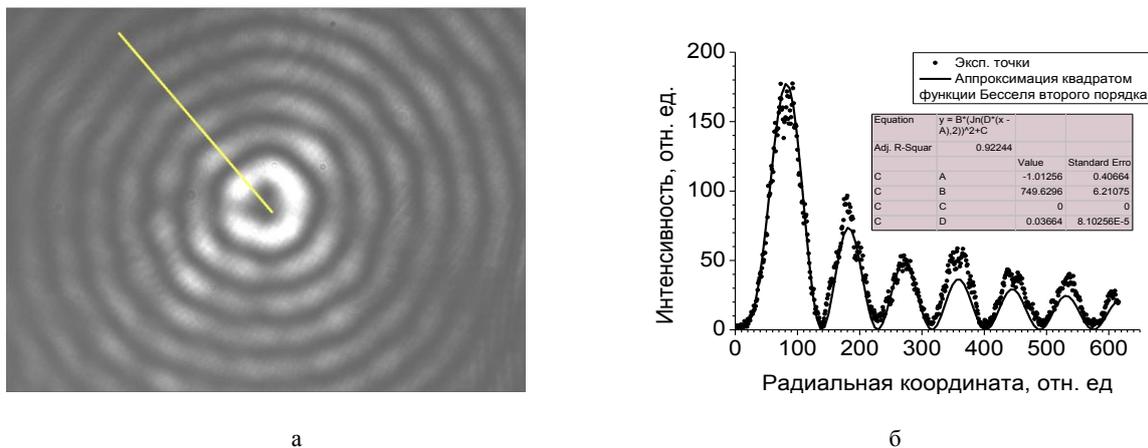
$$I_0(\rho) = \left(\frac{f_1}{f_2}\right)^2 I_0\left(\frac{f_2}{f_1}\rho\right) \cos^2\left(\frac{\Delta k L}{2}\right), \quad (2)$$

где  $\frac{\Delta k}{2} = \frac{k_0}{4n_o} \left(\frac{n_o^2}{n_e^2} - 1\right) \sin^2(\gamma)$ , или  $\frac{\Delta k}{2} = \frac{\pi}{2\lambda n_o} \left(\frac{n_o^2}{n_e^2} - 1\right) \sin^2(\gamma)$ , L – длина кристалла,  $f_1, f_2$  – фокусные расстояния линз, составляющих телескоп,  $n_o, n_e$  – показатели преломления обыкновенной и необыкновенной волн в кристалле,  $\epsilon_o, \epsilon_e$  – главные компоненты тензора диэлектрической проницаемости для обыкновенной и необыкновенной волн в кристалле,  $\gamma$  – угол конусности элементарных пучков в световом пучке,  $\rho$  – радиальная координата.



**Рисунок 2 – Распределения интенсивности в многокольцевых пучках: поперечные распределения в пучках с ВДВФ (а) и без нее (б) и диаметральные распределения интенсивности вдоль желтых линий с их суммой (в)**

Суммирование распределений (1) и (2) имеет результатом распределение интенсивности в начальном гауссовом пучке, падающем на кристалл, за вычетом потерь при отражении на входной и выходной гранях оптических элементов (рис. 2, в).



**Рисунок 3 – Поперечное (а) и радиальное (б) распределение интенсивности в полученном экспериментально БСП<sub>2</sub>**

На рисунке 3 показано распределение интенсивности в БСП<sub>2</sub>, сформированном из пучка с ВДВФ<sub>2</sub>.

Большим достоинством предложенного метода является возможность формирования высокоинтенсивных лазерных БСП<sub>2</sub>, что обеспечивается высокой лучевой прочностью использованных для реализации метода одноосного кристалла KDP (дигидрофосфат калия  $\text{KH}_2\text{PO}_4$ ), четвертьволновых пластинок и кристаллических поляризаторов.

Радиальное распределение интенсивности в БСП<sub>2</sub>, полученном с помощью аксикона с углом при основании конуса порядка 2,5 градуса, хорошо соответствует квадрату функции Бесселя второго порядка. Высокоинтенсивные БСП<sub>2</sub> могут применяться для точной лазерной обработки материалов, управления частицами в био- и нанотехнологиях, локального воздействия на биоткани.

#### Список литературы

1. Belyi, V. N. Propagation of high-order circularly-polarized Bessel Beams and vortex generation in uniaxial crystals / V. N. Belyi, N. A. Khilo, N. S. Kazak, A. A. Ryzhevich, A. Forbes // Opt. Eng. – 2011. – Vol. 50, № 5. – P. 1–9.
2. Хило, Н. А. Преобразование порядка бесселевых световых пучков в одноосных кристаллах / Н. А. Хило, А. А. Рыжевич, Е. С. Петрова // Квантовая Электроника – 2001. – Т. 31, № 1. – С. 85–89.

We investigate the effective method for shaping the Bessel light beam of the second order from the initial Gaussian beam using a uniaxial crystal. We propose optimal configuration of optical scheme for the method.

*Балыкин Игорь Валерьевич*, студент 4 курса факультета радиофизики и компьютерных технологий БГУ, Минск, Беларусь, b97@dragon.bas-net.by.

Научный руководитель – *Рыжевич Анатолий Анатольевич*, кандидат физико-математических наук, ведущий научный сотрудник Института физики НАН Беларуси, Минск, Беларусь, tol@dragon.bas-net.by.

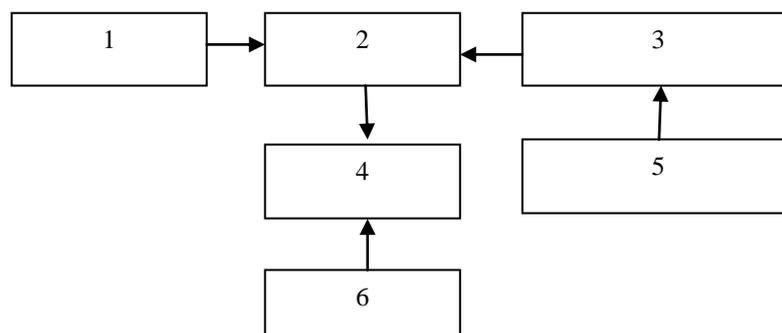
УДК 533.9.072

А. Л. БАРАХОЕВ

### ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНАЯ УСТАНОВКА ДЛЯ ВОЗБУЖДЕНИЯ РАЗРЯДА АТМОСФЕРНОГО ДАВЛЕНИЯ БАРЬЕРНОГО ТИПА

Для проведения технических и технологических экспериментов с использованием разряда барьерного типа при атмосферном давлении разработана экспериментальная установка, обеспечивающая возможность программно-управляемого перемещения зоны плазмообразования. Рассмотрены структурная схема установки, особенности работы системы перемещения разрядного узла. Приведены электрические характеристики разряда барьерного типа.

Барьерный разряд до сих пор остаётся малоизученным, несмотря на долгие годы исследований и количество перспективных промышленных приложений [1], его применение в основном сосредоточено на генерации озона [2]. Для проведения экспериментов с барьерным разрядом при атмосферном давлении, в том числе обработки разного рода объектов в плазме барьерного разряда, разработан экспериментальный стенд, структурная схема которого показана на рисунке 1.



1 – высоковольтный регулируемый источник питания; 2 – электроразрядная система; 3 – система перемещения; 4 – объект обработки; 5 – ПЭВМ; 6 – регулируемый держатель

**Рисунок 1 – Структурная схема экспериментального стенда**

Система перемещения дает возможность программно-управляемого движения электрода над поверхностью объекта обработки, располагаемого на регулируемом столике.

Установка создана на основе барьерного разряда, возбуждаемого последовательностью импульсов с частотой нескольких сотен Гц, и имеет возможность регулировки объёмного энерговклада в разряд. Временная структура электрического поля в межэлектродном промежутке барьерного разряда представлена на рисунке 2.

Разработанная конструкция экспериментального стенда позволяет проводить обработку объектов в условиях атмосферного давления, как в среде воздуха, так и в других газах (к примеру,  $N_2$ , Ar).

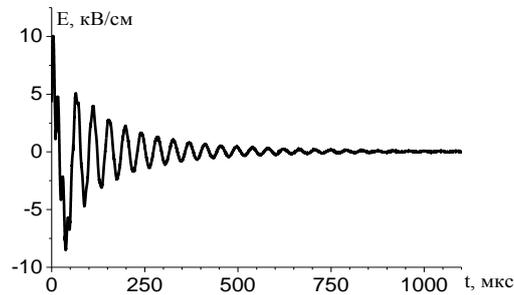


Рисунок 2 – Временная структура электрического поля в межэлектродном промежутке барьерного разряда

Возможно осуществлять обработку плоскости поверхностей при расстоянии от разрядного электрода до обработанной поверхности в диапазоне от 1 до 8 мм. Также возможно проведение длительной процедуры обработки (в течение нескольких десятков минут), при этом разрядный электрод может перемещаться, либо может быть неподвижен (рисунок 3).

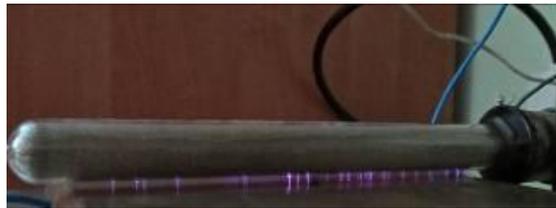


Рисунок 3 – Барьерный разряд атмосферного давления

Задающий генератор источника питания барьерного разряда работает на частоте до 1 кГц. Сформированные высоковольтные импульсы имеют внутреннюю структуру – высокочастотное заполнение в виде затухающих колебаний, обусловленных резонансными свойствами выходного высоковольтного трансформатора. Источник питания энергетической системы барьерного разряда позволяет регулировать амплитуду напряжения в пределах 20–40 кВ, выходную мощность регулировать в пределах 30–60 Вт. Возможна обработка материалов как одиночными импульсами с частотой их следования 100 Гц, так и пачками импульсов (рисунок 4).

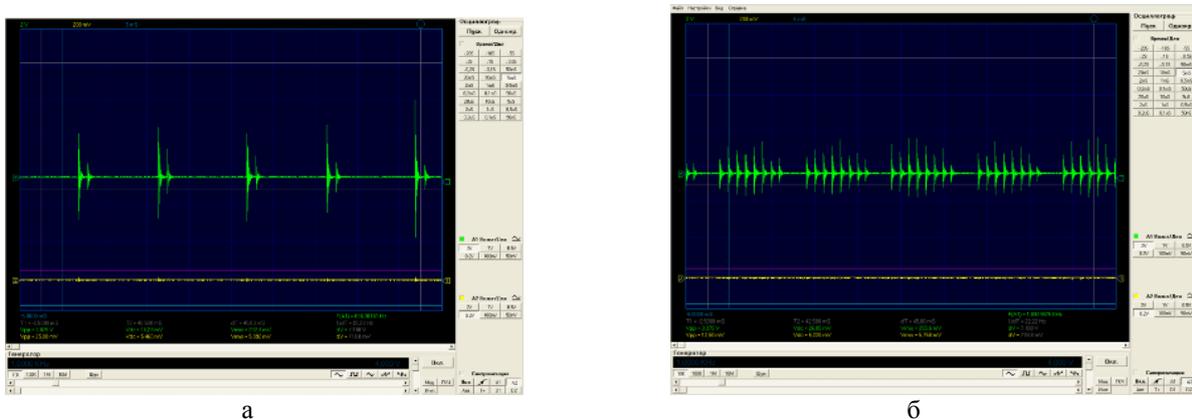


Рисунок 4 – Осциллограммы импульсов высоковольтного напряжения (а -  $f \approx 100$  Гц, б -  $f \approx 800$  Гц)

Средняя мощность, подводимая к разряду, составляла 30 Вт. Система перемещения позволяет программировать траекторию движения трубки барьерного разряда параллельно плоскости основания

равномерно со скоростью от 5 мм/с до 1000 мм/с, а также циклически ступенчато (когда скорость перемещения на разных участках траектории движения различна).

*Список литературы*

1. Автаева, С. В. Барьерный разряд. Исследование и применение / С. В. Автаева – Бишкек. : КРСУ, 2009. – 152 с.
2. Самойлович, В. Г. Физическая химия барьерного разряда / В. Г. Самойлович, В. И. Гибалов, К. В. Козлов. – М. : Изд-во МГУ, 1989 – 176 с.

An experimental stand for excitation of a dielectric barrier discharge at atmospheric pressure was developed. The structural scheme of the setup and electrical characteristics of the discharge are presented.

*Барахоев Андрей Леонидович*, магистрант кафедры электронной техники и технологии факультета компьютерного проектирования БГУИР, Минск, Беларусь, andreibarahoiev@gmail.com.

Научный руководитель – *Бордусов Сергей Валентинович*, доктор технических наук, профессор кафедры электронной техники и технологии БГУИР, Минск, Беларусь, bordusov@bsuir.by.

УДК 66.088

Д. В. БЕЛЬСКИЙ

### **ИССЛЕДОВАНИЕ ВЛИЯНИЯ РАССТОЯНИЯ МЕЖДУ КРЕМНИЕВЫМИ ПЛАСТИНАМИ НА СКОРОСТЬ СВЧ ПЛАЗМОХИМИЧЕСКОГО УДАЛЕНИЯ ФОТОРЕЗИСТИВНЫХ ПЛЁНОК**

Исследовано влияние расстояния между обрабатываемыми кремниевыми пластинами, расположенных в области локального максимума СВЧ энергии, на скорость СВЧ плазмохимического удаления с их поверхности фоторезистивных пленок. Установлено, что уменьшение расстояния между обрабатываемыми пластинами может приводить к уменьшению скорости удаления фоторезиста до двух раз.

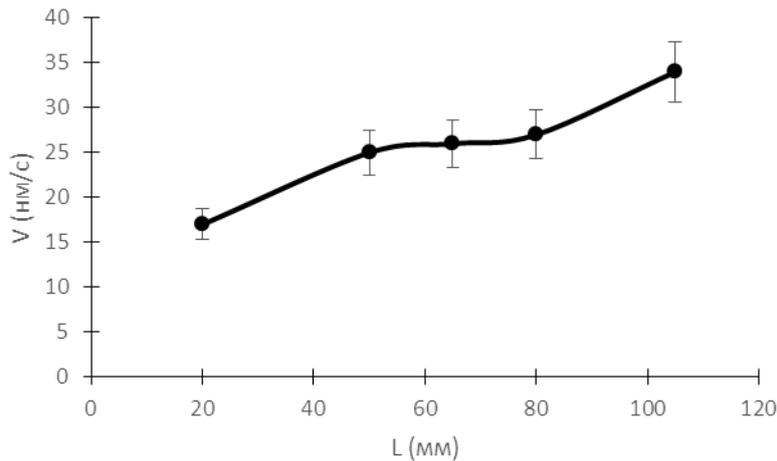
СВЧ газоразрядное оборудование технологического назначения широко используется на операциях непрецизионной обработки материалов микроэлектроники, предусматривающих индивидуальную обработку полупроводниковых пластин диаметром 300 и 200 мм и групповую обработку пластин с меньшим диаметром. Анализ литературных источников показывает, что в конструкциях таких СВЧ плазмотронов в качестве систем для возбуждения и поддержания СВЧ разряда используются резонаторы прямоугольной формы. В резонаторных СВЧ плазматронах для получения разряда используется энергия «стоячих волн» [1]. Полученные результаты измерений структуры распределения СВЧ поля в зоне газового разряда в резонаторе прямоугольной формы указывают на существование устойчивой формы неравномерности распределения плотности мощности в объеме разрядной зоны [2]. Это свидетельствует о наличии существенной пространственной неоднородности в параметрах СВЧ разряда применительно к цилиндрическим разрядным камерам туннельного типа, что в свою очередь предполагает разброс скоростей гомогенных и гетерогенных процессов по сечению и длине разрядной камеры.

Для эффективного проведения плазменных процессов обрабатываемые материалы необходимо размещать в областях СВЧ разряда, где его химическая активность максимальна [1]. При групповой обработке полупроводниковых пластин одним из факторов, влияющих на скорость удаления фоторезиста, является расстояния между подложками, что может быть связано с изменением плотности травящих фоторезист частиц, ухудшением отвода отработанных продуктов реакции, увеличением сопротивления движению газового потока.

Экспериментальные исследования влияния расстояния между подложками на скорость удаления с их поверхности фоторезиста в области локального максимума СВЧ энергии проводились на базе лабораторной СВЧ плазменной установки резонаторного типа [3], используемой на операциях очистки полупроводниковых подложек, удаления фоторезистивных покрытий, лаков и мастик, плазменного осаждения пленок, модификации поверхности материалов, деталей и узлов сложной формы [1].

Внутри кварцевого туннельного реактора объемом около 9000 см<sup>3</sup> на подложкодержателе из кварцевого стекла размещались пластины из монокристаллического кремния диаметром 100 мм с нанесенным на его поверхность фоторезистом марки S 1813 G 2 SP 15 толщиной 1,5 мкм. Пластины располагались вдоль оси напуска газа. Регистрация момента окончания процесса удаления фоторезиста проводилась при помощи спектрометра SL 40-2-2048 ISA по интенсивности спектральной линии кислорода  $\lambda = 777,46$  нм. В качестве рабочего газа использовался воздух. Процесс плазмохимического удаления проводился при давлении 130 Па.

Результаты исследования влияния расстояния между обрабатываемыми кремниевыми пластинами на скорость СВЧ плазмохимического удаления с их поверхности фоторезистивных пленок представлены на рисунке 1.



**Рисунок 1 – Зависимость скорости удаления фоторезиста с поверхности пластин от расстояния между ними**

Экспериментально установлено, что уменьшение расстояния между кремниевыми пластинами приводит к снижению скорости плазмохимического удаления фоторезистивных маскирующих покрытий на их поверхности. Уменьшение расстояния между обрабатываемыми пластинами может приводить к уменьшению скорости удаления фоторезиста до двух раз. При расстоянии менее 50 мм между пластинами происходит значительное снижение скорости удаления фоторезиста, что может быть частично объяснено экранированием пластинами диаметром 100 мм области обработки, а также эффектом поглощения СВЧ энергии кремниевыми пластинами, обладающими высоким значением тангенса угла диэлектрических потерь. Полученные результаты необходимо учитывать при разработке конструкций систем загрузки полупроводниковых пластин в разрядную камеру СВЧ плазматрона, а также при оптимизации технологических процессов групповой СВЧ плазмохимической обработки.

#### *Список литературы*

1. Бордусов, С. В. Плазменные СВЧ технологии в производстве изделий электронной техники / Под ред. А. П. Достанко. – Минск : Бестпринт, 2002. – 452с.
2. Бордусов, С. В. Особенности распределения СВЧ мощности в объеме резонаторной камеры СВЧ плазматрона / С. В. Бордусов, Ю. С. Шинкевич // *Материалы XI Международной научно-технической конференции «Современные средства связи» 25.09 – 29.09.2006 г., Нарочь, Республика Беларусь.* – Минск : Бестпринт, 2006 – С. 36.
3. Бордусов, С.В. Конструктивные особенности установки и технологические процессы СВЧ-плазменной обработки материалов в условиях низкого вакуума / С.В. Бордусов // *Материалы, технологии, инструменты.* – 2001. – Т. 6, № 4. – С. 62 – 64.

The influence of the distance between processed silicon plates located in the region of the local maximum of microwave energy on the rate of microwave plasma chemical removal from their surface photoresist films is investigated. It is established that the change of the distance between the processed plates can lead to a decrease in the removal rate of the photoresist up to two times.

*Бельский Дмитрий Владимирович* – магистрант кафедры электронной техники и технологии БГУИР, Минск, Беларусь, oregoner60@gmail.com.

Научный руководитель – *Мадвейко Сергей Игоревич*, кандидат технических наук, доцент, заведующий кафедрой электронной техники и технологии БГУИР, Минск, Беларусь, madveyko@bsuir.by.

УДК 535.391

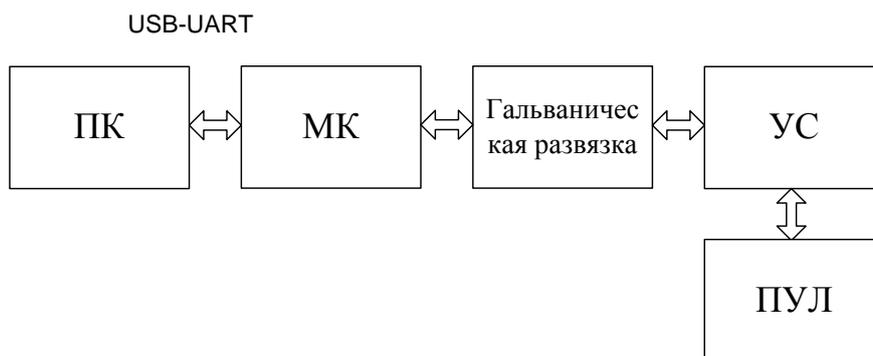
В. В. ГРИГУТЬ, А. Ю. ДАУКША

### **МОДЕРНИЗАЦИЯ ПУЛЬТА УПРАВЛЕНИЯ ЛАЗЕРОМ В КОНТЕКСТЕ АВТОМАТИЗАЦИИ ЭКСПЕРИМЕНТА**

Разработано устройство для автоматического управления лазером ГОР-100М и передачи параметров его работы на компьютер. Полученные данные хранятся в электронном виде на ПК и обрабатываются специализированными программными пакетами. При проведении экспериментов по взаимодействию излучения с веществом это позволяет снизить временные затраты на обработку результатов.

Изучение взаимодействия излучения с веществом требует проведения большого количества экспериментов, что сопряжено с увеличенными временными затратами. Так необходимо получать результаты экспериментов при различных режимах работы лазера, внешних условий (наличие электрических и магнитных полей, величины давления фонового газа). Увеличение скорости обработки экспериментальных данных возможно при автоматизации эксперимента. Для реализации этой концепции необходимо связать приборы экспериментальной установки с компьютером. В случае отсутствия у оборудования соответствующих штатных интерфейсов задача резко усложняется. Это в основном характерно для приборов с датой производства до 2000-ых годов. Другой проблемой является необходимость гальванической развязки прибора и ПК, а также согласование уровней сигналов. В случае использования лазерной техники эта проблема приобретает ещё большую сложность в виду наличия высокого напряжения в его цепях.

Для решения этих задач разработано устройство для связи ПК с пультом управления лазером, рисунок 1.



**Рисунок 1 – Структурная схема устройства связи пульта управления лазером и ПК**

Команды управления лазером передаются компьютером на микроконтроллер **МК** через интерфейс связи USB-UART, реализованный на микросхеме FT232RL. Управляющие сигналы передаются микроконтроллером к устройству сопряжения **УС** через гальваническую развязку на оптронах. Устройство сопряжения производит непосредственное управление пультом управления лазера **ПУЛ**. Информация о параметрах работы лазера, а также обратная связь реализованы при помощи устройства сопряжения.

**Компонентная база.** В устройстве применён микроконтроллер Atmega32, он имеет достаточный объём оперативной памяти, встроенный интерфейс UART/USART, 8 канальный 10 битный АЦП, 32 Кб Flash, 1024 бита ППЗУ и 2Кб SRAM памяти и необходимое количество портов ввода-вывода. Тактирование микроконтроллера осуществляется от внешнего кварцевого резонатора с резонансной частотой 8 МГц, который может быть как в выводном, так и в SMD исполнении. Потребляемый ток Atmega32-16AU при работе на указанной частоте не превышает 5 мА. Гальваническая развязка реализована с помощью оптронов типа TLP292-4 (фототранзисторная оптопара), которые имеют высокие изоляционные характеристики (напряжение до 5 кВ). Устройство сопряжения представляет собой микроконтроллер воспринимающий команды от МК Atmega32 и набор транзисторных ключей для управления реле пульта.

**Программное обеспечение.** Программное обеспечение микроконтроллеров устройства разработано в среде Atmel Studio 7.0 на языке C с применением специализированных библиотек для работы с USART портом. Тестирование выполнено в программе Proteus 8.0. Приложение для работы на ПК разработано в среде Lazarus.

Полученные результаты хранятся в базе данных и могут быть использованы другими приложениями, такими как программы для автоматической обработки интерферограм, математическими пакетами для проведения вычислений и статистической обработки. Применение разработанного устройства совместно с приведёнными программами позволяет снизить трудоёмкость обработки результатов, уменьшить вероятность получения ошибок, связанных с человеческим фактором.

#### *Список литературы*

1. Прохоров, А. М. Взаимодействие лазерного излучения с металлами / А. М. Прохоров [и др.] – М. : Наука, 1982. – 256 с.
2. Atmega32 datasheet // Atmel [Электронный ресурс]. – 2018. – Режим доступа: <http://www.atmel.com/Images/doc2467.pdf>. – Дата доступа: 30.01.2018.
3. TLP292-4 datasheet // Toshiba [Электронный ресурс]. – 2018. – Режим доступа: <http://toshiba.semicon-storage.com/ap-en/product/opto/photocoupler/detail.TLP292-4.html>. – Дата доступа: 30.01.2018.
4. Евстифеев, А. В. Микроконтроллеры AVR / А. В. Евстифеев – Москва : Додэка, 2004. – 560 с.
5. FT232RL datasheet // FTDI [Электронный ресурс]. – 2017. – Режим доступа: [http://www.ftdichip.com/Support/Documents/DataSheets/ICs/DS\\_FT232R.pdf](http://www.ftdichip.com/Support/Documents/DataSheets/ICs/DS_FT232R.pdf) – Дата доступа: 25.05.2017.

A device has been developed for automatically controlling the laser and transmitting the parameters of its operation to a computer. The received data is stored electronically on a PC and processed by specialized software packages. When conducting experiments on the interaction of radiation with matter, this reduces the time spent on processing the results.

*Григуть Валерий Владимирович*, аспирант физико-технического факультета ГрГУ им. Я. Купалы, Гродно, Беларусь, valer.grigut@yandex.ru.

*Даукша Александр Юрьевич*, аспирант физико-технического факультета ГрГУ им. Я. Купалы, Гродно, Беларусь.

Научный руководитель – *Васильев Сергей Валерьевич*, кандидат физико-математических наук, доцент кафедры электротехники и электроники физико-технического факультета ГрГУ им. Я. Купалы, Гродно, Беларусь, s.vasilijev@grsu.by.

УДК 535.391: 621.376

А. Ю. ДАУКША, В. В. ГРИГУТЬ

## АВТОМАТИЗАЦИЯ ВЫЧИСЛЕНИЯ СМЕЩЕНИЯ ИНТЕРФЕРЕНЦИОННЫХ ПОЛОС ОТ НЕВОЗМУЩЕННОГО СОСТОЯНИЯ СРЕДСТВАМИ MATLAB

Представлен метод автоматизированной обработки интерферограмм, полученных в ходе лазерно-плазменного воздействия на материалы средствами MATLAB, что позволяет достичь положительного эффекта, заключающегося в значительной экономии ресурсов и времени, выделяемых на обработку данных полученных в ходе эксперимента, а также существенно повысить точность конечного результата.

При диагностике плазмы ручной метод обработки интерферограмм в общем случае предполагает выполнение экспериментатором ряда трудоемких шагов: получение изображений интерферограмм с помощью скоростной фоторегистрирующей камеры; вычисление по изображению величины смещения интерференционных полос от невозмущенного состояния; расчет изменения показателя преломления с помощью интегрального уравнением Абея и вычисление требуемых параметров плазмы.

Очевидно, что автоматизация метода с использованием возможностей пакета MATLAB и его расширений позволяет достичь положительного эффекта, заключающегося в значительной экономии ресурсов и времени, выделяемых на обработку данных полученных в ходе эксперимента, а также существенно повысить точность конечного результата.

В данной работе приведен пример обработки картины спроецированных полос, полученной с целью определения топографии кратера, сформированного на поверхности металлического образца в ходе его лазерно-плазменной обработки.

Полученное в ходе эксперимента изображение интерферограммы считывается из соответствующего файла и помещается в массив данных MATLAB для возможности дальнейшей обработки средствами расширения Image Processing Toolbox (рисунок 1, а). Прочитанное из файла изображение имеет формат представления данных uint8. [1]. Далее путем преобразования RGB составляющих пикселей оригинала в соответствующие им значения яркости, создается полутоновое изображение интерферограммы. Затем происходит настройка оптимальной яркости и контрастности изображения (рисунок 1, б). Для подавления шумов изображение фильтруется и сглаживается. По умолчанию используется сглаживающий фильтра Гаусса с заданным стандартным отклонением распределения (рисунок 1, в).

После предварительной обработки изображение преобразуется бинарное методом отсечения по порогу яркости (рисунок 1, г). Пиксели результирующего бинарного изображения принимают значения 0 (черный цвет), если яркость соответствующих пикселей исходного изображения меньше заданного порога, и значения 1 (белый цвет), если яркость соответствующих пикселей исходного изображения больше либо равна заданному порогу. Порог задается в диапазоне [0, 1] и по умолчанию автоматически вычисляется с использованием метода Оцу [2]. При необходимости значение порога может быть задано вручную.

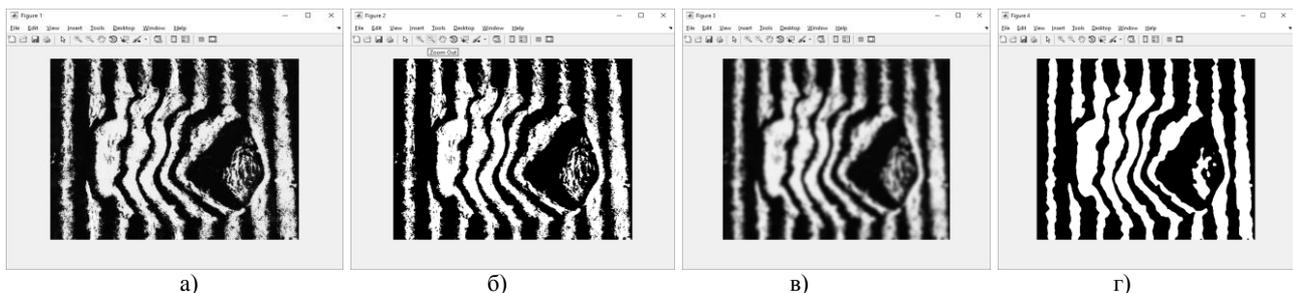
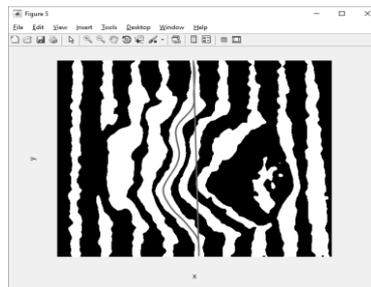


Рисунок 1 – Графическое изображение картины спроецированных полос кратера на разных этапах обработки

Выбор отдельной полосы на интерферограмме осуществляется путем указания курсором мыши любой точки, находящейся в области полосы (т.н. «затравочного» пикселя).

После указания программе интересующей полосы происходит обнаружение и построение кривой, проходящей через центр полосы (равноудаленной в каждой точке от левого и правого краев полосы) и тем самым описывающей ее положение на интерферограмме [3]. Для этого изображение полосы разбивается на ряд строк шириной в один пиксель и вычисляется центр каждой строки. Координаты центров строк записываются в массив, и по ним строится соответствующая кривая. Однако из-за неоднородности и зашумленности исходного изображения построенная таким образом кривая в отдельных точках может неадекватно отражать реальный центр на протяжении всей полосы, уходя в области, полученные из-за искажений краев полосы. Для минимизации полученных случайных отклонений кривая сглаживается средствами расширения MATLAB Curve Fitting Toolbox.

Для получения численных значений смещение полосы от невозмущенного состояния, необходимо получить прямую описывающую положение полосы в данном состоянии. Для этого соединяются точки, полученные путем вычисления среднего значения координат десяти первых и последних центров строк изображения выбранной полосы (рисунок 2).



**Рисунок 2 – Интерферограмма с выбранной для определения смещения от невозмущённого состояния светлой полосой**

Значения смещения в пикселях определяется как длина перпендикуляра, опущенного из точки кривой, описывающей текущее положение полосы к прямой описывающей положение полосы в невозмущенном состоянии.

Сдвиг полосы в пикселях преобразуется в число полос, на которое сместилась интерференционная картина при образовании неоднородности. Для этого сдвиг полосы в пикселях делится на среднюю ширину полосы в пикселях. Средняя ширина полосы определяется как среднее расстояние между двумя соседними светлыми либо темными полосами.

Смещение интерференционных полос  $\Delta k(x, y)$  на интерферограмме и изменение показателя преломления связаны между собой интегральным уравнением Абеля [4]:

$$\Delta k(x, y) = \frac{2}{\lambda} \int_{r=y}^R [n(x, r) - n_0] \frac{r dr}{\sqrt{r^2 - y^2}}, \quad (1)$$

где  $r = \sqrt{z^2 + y^2}$ . Это уравнение имеет точное решение:

$$n(x, r) - n_0 = -\frac{\lambda_l}{\pi} \int_r^R \frac{dk(x, y)/dy}{\sqrt{y^2 - r^2}} dy. \quad (2)$$

Для численного решения уравнения Абеля применяется один из наиболее простых и наглядных методов, а именно метод ступенчатой аппроксимации, который часто называют методом Пирса.

#### Список литературы

1. 8-bit unsigned integer arrays [Electronic resource] : MathWorks – Support. – Mode of access: <https://www.mathworks.com/help/matlab/ref/uint8.html>. – Date of access: 21.02.2018.
2. Otsu N. A threshold selection method from gray-level histograms / N. Otsu // IEEE transactions on systems, man, and cybernetics. – 1979. – Vol. 9 – № 1. – pp. 62–66.
3. Jackson, S. L. Abel inversion of a holographic interferogram for determination of the density profile of a sheared-flow Z pinch / S. L. Jackson, U. Shumlak // Review of scientific instruments. – 2006. – Vol. 77. – № 8. – p. 10.
4. Островский, Ю. И. Голографическая интерферометрия. Монография / Ю. И. Островский, М. М. Бутусов, Г. В. Островская. – Главная редакция физико-математической литературы издательства «Наука», 1977. – 336 с.

The method of automated processing of interferograms obtained during laser-plasma processing of materials by means of MATLAB is presented. The presented method allows to achieve a positive effect, which consists in significant saving of resources

and time allocated for processing data obtained during the experiment, and significantly improve the accuracy of the final result.

*Даушка Александр Юрьевич*, аспирант физико-технического факультета ГрГУ им. Я. Купалы, Беларусь, Гродно, dauksha\_aj@grsu.by.

*Григуть Валерий Владимирович*, аспирант физико-технического факультета ГрГУ им. Я. Купалы, Беларусь, Гродно, valer.grigut@yandex.by.

*Научный руководитель – Иванов Алексей Юрьевич*, доктор физико-математических наук, профессор кафедры теоретической физики и теплотехники ГрГУ им. Я. Купалы, Беларусь, Гродно, ion\_ne@mail.ru.

УДК 537.633; 533.9.03

А. И. ЗАНЬКО, Б. М. ШАНДАРОВИЧ, С. А. НИКИТЮК

### МОДЕРНИЗАЦИЯ ИСТОЧНИКА ИОННОВ С АНОДНЫМ СЛОЕМ

Представлены результаты модернизации протяженного ионного источника с длиной зоны обработки 140 мм. Построена модель магнитной системы данного источника, приведены результаты моделирования величины индукции магнитного поля в ускорительном канале. Представлены результаты экспериментальных исследований вольт-амперных характеристик разряда.

В настоящее время источники ионов широко используются в технике для осуществления различных технологических процессов: очистки и активации поверхности перед нанесением покрытия, размерной обработки поверхности прецизионных деталей, пассивирования поверхности металлов, синтеза алмазоподобных пленок на поверхности твердого тела, либо удаления пленок с этой поверхности. Химические методы не всегда позволяют добиться очистки поверхности от органических растворителей, химических реагентов, пленок сложного состава. Поскольку состав загрязнений большей частью неизвестен, распыление ионами аргона является наиболее эффективным методом удаления сверхтонких поверхностных слоев. Одним из наиболее распространенных источников является ускоритель с анодным слоем. Достоинствами этих источников являются – отсутствие ограничения по плотности ионного тока, сравнительная простота конструкции, использование только одного источника питания, высокая газовая эффективность и др.

Актуальным направлением в области применения процессов ионно-лучевой очистки является потребность обрабатывать подложки прямоугольной формы.

Для модернизации была выбрана конструкция ИИАС протяженной конфигурации, сечение которого, представлено на рисунке 1а. Конструкция включает в себя анод и катод-магнитопровод состоящий из центрального и периферийного полюсных наконечников. Изначально магнитное поле создавалось с помощью постоянны ферритовых магнитов с остаточной магнитной индукцией 400 мТл размещенных по периметру источника. Длина зоны обработки ионного источника 140 мм. В полость, где находится анод, через газораспределитель подается рабочее вещество. Форма линий магнитной индукции для данной конструкции показана на рисунке 1б.

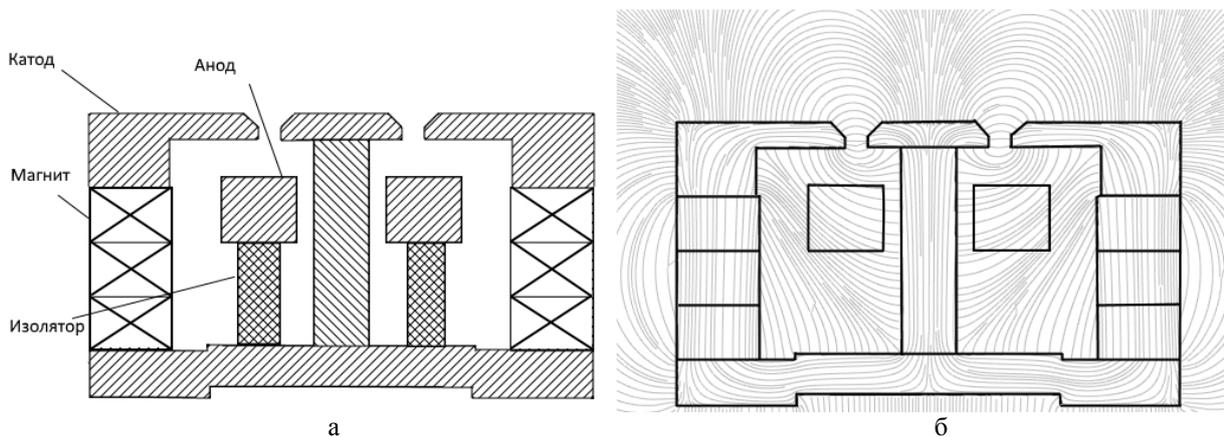


Рисунок 1 – а) конструкция ИИАС; б) конфигурация магнитной ловушки ИИАС

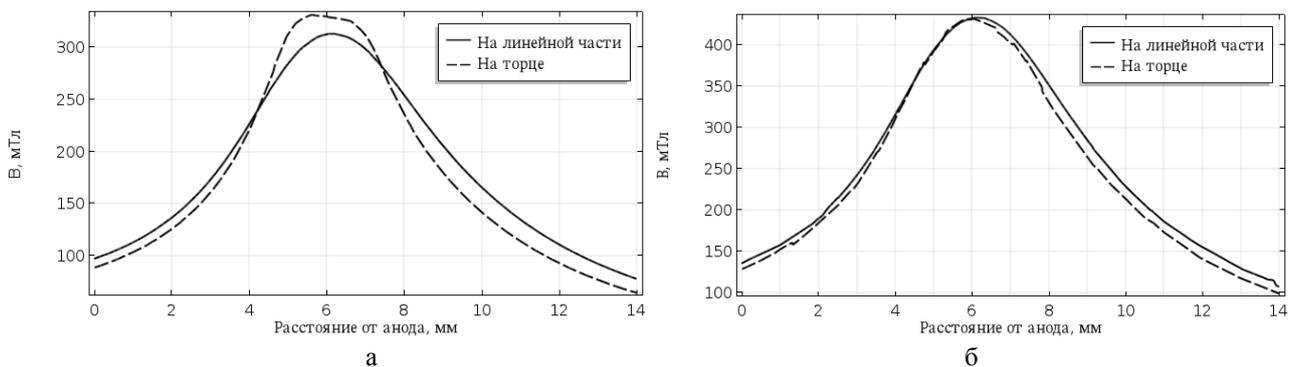
Рассматриваемая конструкция имела ряд недостатков, из-за которых максимальный ионный ток не превышал 50 мА при расходе рабочего газа 50 см<sup>3</sup>/мин. Мы провели работу по юстировке электродов, а так же уменьшили расстояние анод-катод для эффективного ускорения генерируемых ионов. Ферритовые магниты

заменяли на более сильные самарий-кобальтовые магниты. На рисунке 2 представлено распределение величины магнитной индукции в зависимости от расстояния от анода в центре ускорительного канала.

Как видно из приведенных зависимостей на рисунке 2а величина индукции поля на линейных и торцевых участках ускорительного канала имеет заметные отклонения от 10 до 35 мТл, что свидетельствует о возникновении диагонального эффекта из-за изменения ларморовского радиуса электронов в анодном слое и снижения эффективности ионизации.

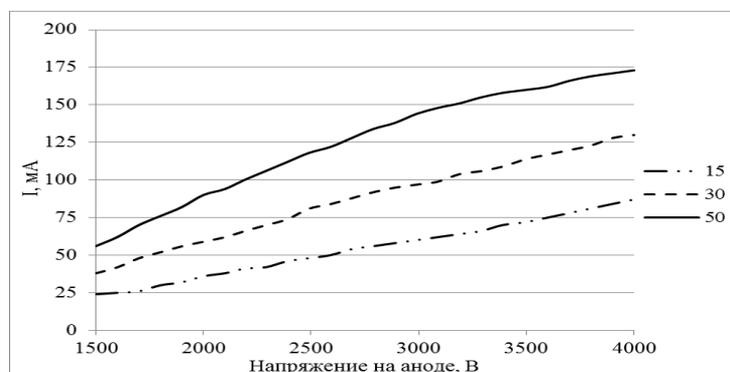
Основная задача в процессе моделирования заключалась в коррекции величины индукции магнитного поля на линейном участке и торце ускорительного канала с целью ее выравнивания вдоль всего канала. Это важно для обеспечения генерации одинакового по плотности тока ионного пучка над рабочей областью анода и исключения диагонального эффекта характерного для систем с разрядом в скрещенных электрическом и магнитном полях в протяженной конфигурации.

Нами был выполнен подбор постоянных самарий-кобальтовых магнитов более компактного размера с остаточной магнитной индукцией до 900 мТл. Оптимизация геометрических параметров ускорительного канала выполнялась с использованием программного комплекса Comsol Multiphysics. На рисунке 2б представлена зависимость величины магнитной индукции от расстояния от анода при модернизированной конструкции.



**Рисунок 2 – Зависимость величины магнитной индукции от расстояния от анода: а) для изначальной конструкции; б) для модернизированной конструкции**

Результаты экспериментальных исследований вольт-амперных характеристик разряда модернизированного источника представлены на рисунке 3.



**Рисунок 3 – Вольтамперные характеристики источника, при расходах газа 15, 30 и 50 см<sup>3</sup>/мин. Рабочий газ – Аргон**

Из приведенных зависимостей видно, что разработанное устройство устойчиво работает в диапазоне расходов рабочего вещества от 15 до 50 см<sup>3</sup>, и позволяет получать разрядный ток более 170 мА при напряжении разряда 4 кВ. Достиженные параметры свидетельствуют о возможности применения данного источника ионов для проведения процессов серийной промышленной обработки подложек.

*Список литературы*

1. Гришин, С. Д., Лесков, Л. В. Электрические ракетные двигатели космических аппаратов / С. Д. Гришин, Л. В. Лесков. – М. : Машиностроение. – 1989. – С. 3–4, 100–111, 120–129.
2. Маишев, Ю. П. Ионно-лучевая обработка / Ю. П. Маишев // Электронные, ионные и плазменные технологии. – 1999. – 7. – С. 59 – 62.



Фиксируя величину этого угла закручивания при прохождении зонда по поверхности в прямом и обратном направлении и деля разницу в показаниях пополам, получаем величину закручивания консоли при контакте с поверхностью  $dZ$  (рисунок 2) [2].

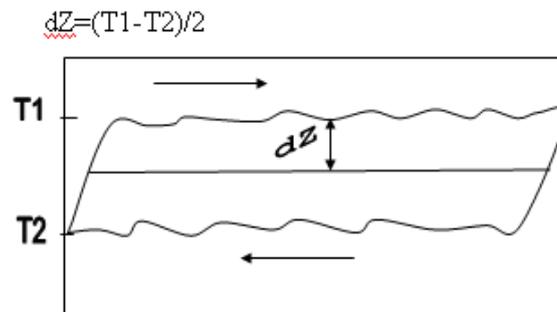


Рисунок 2 – Схема определения величины нормального отклонения зонда

На рисунке 3 приведены профили прохода в прямом и обратном направлении поверхности кремния с помощью атомно-силового микроскопа, перед обработкой и после обработки в плазме атмосферного разряда (мощность 12 Вт, расход газа 381 л/ч, время обработки 5 мин.).

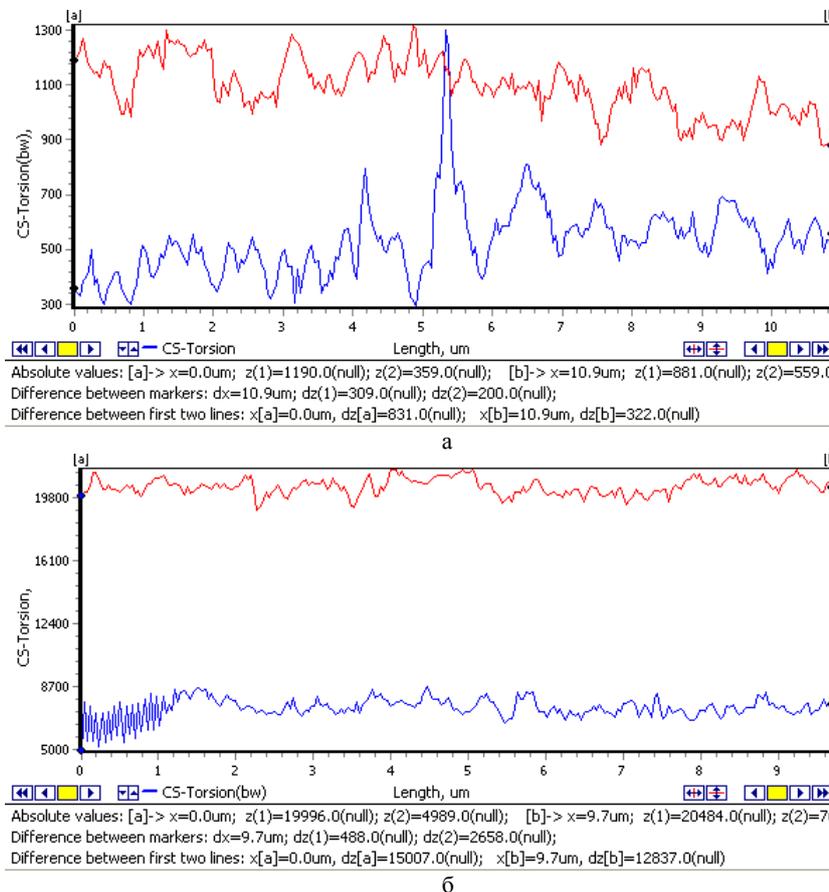


Рисунок 3 – Экспериментальные данные профилей прохода в прямом и обратном направлении:  
 а – необработанная поверхность кремния; б – обработанная поверхность кремния

Исходя из результатов представленных исследований, можно говорить о том, что после обработки поверхности кремния в плазме атмосферного разряда адгезия поверхности значительно увеличивается, а именно в 105 раз по отношению к необработанной поверхности кремния.

Таким образом, в результате проведенной работы было установлено, что обработка поверхности кремния в плазме атмосферного разряда способствует существенному повышению адгезионной способности поверхности кремния. Приведенные результаты имеют значительное практическое применение.

## Список литературы

1. Interaction of Atmospheric Pressure Plasma Jets with Liquids / 4Th. von Woedtke [and etc.] // Physics Reports. – 2013. – Vol. 530. – P. 291–320.

2. Методическое пособие по выполнению лабораторной работы «Определение коэффициента трения различных поверхностей МЭМС-акселерометра производства НИИ радиоматериалов» / Минск : БНТУ, 2017. – 12 с.

Researches of processing of a surface of silicon in plasma of the atmospheric category by means of an atomic and power microscope are conducted. It has been revealed that preliminary processing by plasma energy promotes essential and precisely adjustable increase in adhesive ability and wettability of surfaces.

*Запороженко Юлия Владимировна*, студентка 4 курса факультета радиотехники и электроники БГУИР, Минск, Беларусь, yli9sedlezka9@mail.ru.

*Никитюк Сергей Анатольевич*, магистрант кафедры МНЭ БГУИР, Минск, Беларусь, nikitiuk.work@gmail.com.

Научный руководитель – *Котов Дмитрий Анатольевич*, кандидат технических наук, доцент кафедры микро- и нанoeлектроники БГУИР, Минск, Беларусь, kotov@bsuir.by.

УДК 620.199

А. А. КАЛИНОВ, Е. Г. КЛЁНИН

### АВТОМАТИЗИРОВАННАЯ УСТАНОВКА ДЛЯ ИСПЫТАНИЯ ОБРАЗЦОВ НА КОРРОЗИЙНУЮ СТОЙКОСТЬ

Разработано и изготовлено недорогое устройство, с помощью которого можно исследовать коррозионную стойкость материалов. Устройство погружает заготовку в агрессивную среду на определенное количество времени, а затем поднимает его, данный процесс повторяется необходимое количество раз. Так же установка включает в себя термостат для поддержания необходимой температуры процесса.

В лабораториях часто возникает потребность исследования коррозионной стойкости образцов.[1] Для этого материалы нужно подвергать продолжительному, циклическому влиянию агрессивных сред, но данный процесс достаточно долгий. Раньше исследования проводили вручную, что отнимало у сотрудников лабораторий большое количество времени, поэтому было принято решение автоматизировать данный процесс. В ходе работы был разработан программно-аппаратный комплекс, который позволит решить данную задачу. Помимо исследования коррозионной стойкости, данная установка может быть использована для автоматизации и ускорения процесса травления печатных плат.

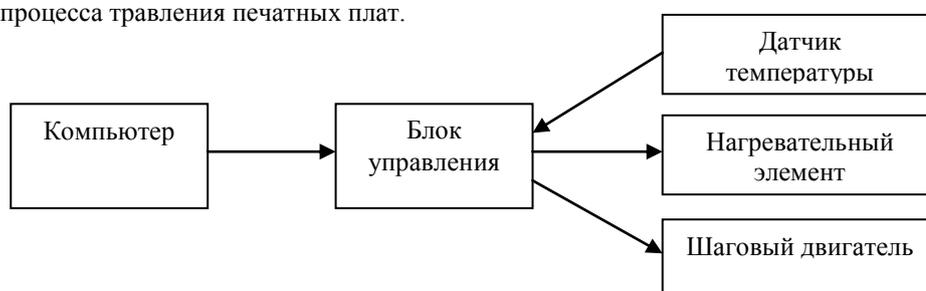


Рисунок 1 – Блок-схема устройства

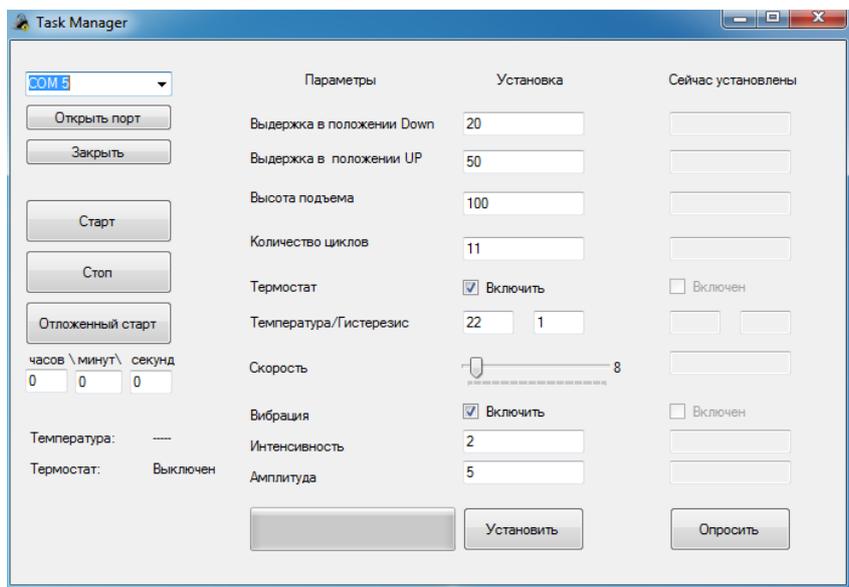
Для реализации устройства, в качестве основного управляющего элемента был выбран микроконтроллер компании Atmel – ATmega 328P [2]. Для контроля температуры используется датчик Dallas DS18B20 с диапазоном измерений от -55 до +125 °С. В качестве нагревательного элемента будет использоваться электрическая плитка, мощностью 2 кВт и работающая от сетевого напряжения. Процесс погружения образцов в раствор будет выполнять шаговый двигатель, работающий в полшаговом режиме [3]. Также устройство включает в себя блок питания с выходными напряжениями 9 и 24 В. Для первоначальной настройки установки блок управления необходимо подключить к компьютеру с помощью USB кабеля и задать необходимые параметры используя специальную программу, написанную на языке C#. Для работы программы на компьютере должны быть установлены драйвера для микросхемы CH341SER и пакеты Microsoft Visual Studio. [4].

Устройство имеет следующие установки:

- Время выдержки образца в растворе и на воздухе
- Высота подъема образца
- Термостат с регулировкой температуры и гистерезиса

- Скорость работы шагового двигателя
- Вибрация (поднимание и опускание образца на небольшую высоту в растворе)
- Отложенный старт

Данное устройство будет использоваться в научной лаборатории рентгеноструктурного анализа кафедры общей физики ГрГУ им. Я. Купалы и позволит упростить и автоматизировать процесс проверки коррозионной стойкости материалов и процесс изготовления печатных плат. Данное устройство имеет высокую надежность, хорошую ремонтпригодность и низкую стоимость



#### Список литературы

1. Studfiles [электронный ресурс]. – 2017. Режим доступа: <http://www.studfiles.ru/preview/6144952/page:4> / Дата доступа: 14.04.2017.
2. Atmel [электронный ресурс]. – 2016. Режим доступа: <http://www.atmel.com/ru/ru/> Дата доступа: 22.11.2016.
3. Vt-tech [электронный ресурс]. – 2017. Режим доступа: <https://vt-tech.eu/articles/cnc/50-stepper-motors.html> Дата доступа: 13.04.2017.
4. MicrosoftDeveloperNetwork [электронныйресурс]. – 2016. Режим доступа: <https://msdn.microsoft.com> Дата доступа: 17.04.2017.
5. Калинов, А. А. Программно-аппаратный комплекс для удаленного мониторинга состояния помещений / А. А. Калинов // Физика конденсированного состояния: материалы XXV международной науч.-практ. конф. аспирантов, магистрантов и студентов (Гродно, 20 апр. 2017 г.) / ГрГУ им. Я. Купалы, – Гродно : ГрГУ, 2017. – С. 182–183.
6. Герман, А. Е. Основы автоматизации эксперимента: лабораторный практикум / А. Е. Герман, Г. А. Гачко. – Гродно: ГрГУ, 2005.

The aim of this work is to develop and manufacture low-cost devices, which can be used to investigate the corrosion resistance of the materials. The device dives the workpiece into an aggressive environment for a certain amount of time, and then raises it, this process is repeated as many times as necessary. The installation also includes a thermostat to maintain the required temperature of the process.

*Калинов Александр Алексеевич*, магистрант физико-технического факультета ГрГУ им. Я. Купалы, Гродно, Беларусь, [kalinovsasha@yandex.ru](mailto:kalinovsasha@yandex.ru).

*Клёнин Егор Германович*, магистрант физико-технического факультета ГрГУ им. Я. Купалы, Гродно, Беларусь, [e\\_glgor@mail.ru](mailto:e_glgor@mail.ru).

Научный руководитель – *Герман Андрей Евгеньевич*, кандидат физико-математических наук, доцент кафедры общей физики ГрГУ им. Я. Купалы, Гродно, Беларусь, [german@grsu.by](mailto:german@grsu.by).

Е. Г. КЛЁНИН, А. А. КАЛИНОВ, М. Л. РАБЦЕВИЧ

**РАСПОЗНАВАНИЕ ПОКАЗАНИЙ ШКАЛ НА ИЗОБРАЖЕНИИ**

Рассмотрены подходы к снятию показаний со шкал на примере расходомера с помощью алгоритмов машинного зрения.

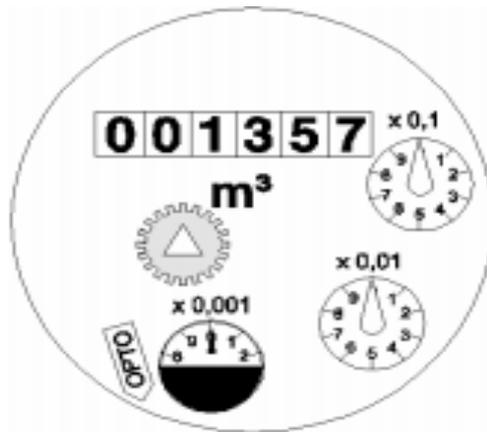
Задачу можно сформулировать следующим образом: на изображении требуется определить место положения шкал с учётом возможных деформаций и поворотов, преобразовать их изображения в стандартную форму, пригодную для распознавания значений. Здесь сразу прослеживаются 2 подхода:

- Искать на изображении непосредственно сами шкалы;
- Определить ориентацию относительно камеры всей панели шкал; и, зная её вид, получить координаты отдельных шкал прямым расчётом.

Второй подход представляется более эффективным при большом количестве шкал на панели, т.к. ресурсоёмкие алгоритмы обработки всего изображения применяются только один раз.

При оценке эффективности алгоритмов распознавания образов учитываются, в первую очередь, скорость их работы и количество ложных срабатываний/несрабатываний. Сами алгоритмы, как правило, преобразовывают исходный массив данных в некоторое пространство признаков, который может являться входным массивом для следующего алгоритма. Цепочка длится до тех пор, пока на итоговом пространстве искомый признак не будет отображаться как локальный максимум. Очевидно, что скорость работы тем выше, чем меньше размерность пространства; однако снижение диапазона рассматриваемых признаков ухудшает точность срабатывания.

Будем распознавать показания шкал на примере расходомера модели MeiStream.



**Рисунок 1 – Приборная панель расходомера модели MeiStream**

Приборная панель расходомера круглая, и для определения её положения на изображении достаточно найти окружность. Плюсы такого подхода в том, что положение окружности не зависит от поворота прибора вокруг оси, перпендикулярной приборной панели. Пространство признаков в этом случае имеет размерность на единицу меньше, чем при поиске несимметричной фигуры, т.к. нет необходимости учитывать угол поворота. Так же размерность снижается за счёт отбрасывания слишком малых радиусов (при которых всё равно не удастся распознать значения). В процессе поиска окружности имеет смысл переходить от большего радиуса к меньшему, что в самом удачном случае даст срабатывание на одном из первых измерений пространства, избавив от необходимости дальнейшего расчёта. Определение угла поворота так же ускоряется, поскольку для обработки передаётся лишь изображение самой панели (или только её кольцевого участка).

Исходным изображением алгоритма – фотография расходомера модели MeiStream. Изображение повернуто на случайный угол и смещено. Алгоритм написан на языке Python с использованием библиотек numpy и OpenCV.



Рисунок 2 – Изображение расходомера (слева), входное изображение алгоритма

Для определения произвольной кривой на изображении используется преобразование Хафа. На входе оно получает изображение кривых, полученное с помощью детектора границ Канни (встроенная функция библиотеки OpenCV: cv2.Canny). В данной работе для простоты преобразование Хафа рассчитывается для заранее заданного радиуса (95 пикселей). Теоретически пространство трёхмерное (третье измерение – диапазон возможных значений радиуса), но производительности Python недостаточно для построения пространства такой размерности. Принципиальной разницей является лишь метод поиска максимума, после нахождения массива интересных окружностей и выделения нужной остальные операции те же.

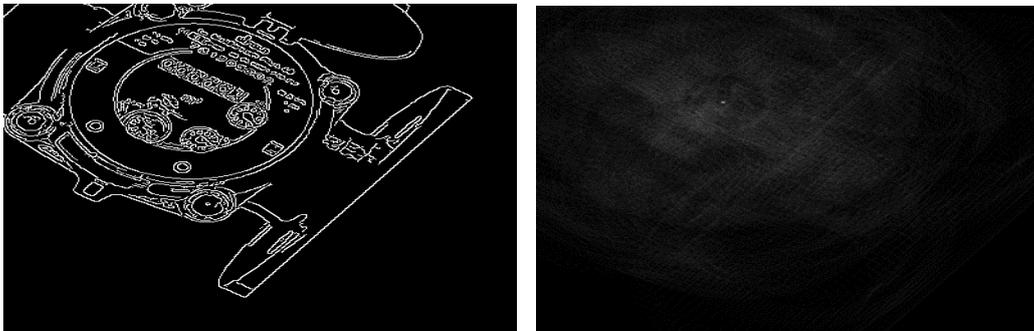


Рисунок 3 – Детектор границ Канни (слева), преобразование Хафа для поиска окружности с радиусом 95 px (справа)

На выходе получаем изображение с явно выраженным максимумом в точке расположения центра окружности. Таким образом удалось определить одну точку приборной панели, размер её известен (радиус 95 px). Для определения угла поворота нужно определить любую другую точку панели. Будем вести поиск уникального элемента (желательно выбирать плоский элемент конструкции, чтобы не было теней) в «кольцевой» области его возможного местонахождения по заранее заготовленному шаблону. Логотип изготовителя – достаточно уникальный и контрастный элемент.

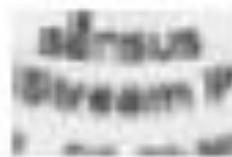


Рисунок 4 – Логотип изготовителя для определения поворота изображения

Область возможного расположения логотипа известна (небольшое кольцо область возле края панели). Исходя из значения радиуса, преобразуем это кольцо в двухмерный массив. Следует взять избыточную длину (равную длине шаблона), чтобы элемент присутствовал в области целиком.



Рисунок 5 – Область поиска логотипа

Далее производится расчёт корреляции (встроенная функция OpenCV: `cv2.matchTemplate`), на выходе одномерный массив. Его визуальное представление (в масштабе):



**Рисунок 6 – Визуальное представление расчёта корреляции**

Очевидно, что в точке совпадения явно выраженный максимум функции. Для более надёжного определения можно вести не поиск локального максимума, а поиск наилучшего совпадения всей корреляционной функции с шаблоном, если присутствует большое число ложных пиков, но такой подход вряд ли потребуется.

Имея две локализованные уникальные точки, можно с точностью определить положение табло на изображении. Интересующую шкалу следует вырезать и масштабировать тем же образом, что и кольцевую область с логотипом, разделить на отдельные цифры. Сами цифры можно распознать с помощью корреляции с изображением всего диска цифр.

Подавление ложных срабатываний определения положения табло можно реализовать с помощью анализа гистограммы, особых точек и др. особенностей выделенного участка изображения.

This article explains application of computer vision algorithms in automatic recognizing values of measurement scales with flowmeter as an example.

#### *Список литературы*

1. Пару слов о распознавании образов [Электронный ресурс] // Хабрахабр: [сайт]. [17 января 2014 в 02:59]. URL: <https://habrahabr.ru/post/208090/>

2. Преобразование Хафа [Электронный ресурс] // Википедия: [сайт]. URL: [http://ru.wikipedia.org/wiki/Преобразование\\_Хафа](http://ru.wikipedia.org/wiki/Преобразование_Хафа).

*Клёнин Егор Германович*, магистрант физико-технического факультета ГрГУ им. Я. Купалы, Гродно, Беларусь, [e\\_glgor@mail.ru](mailto:e_glgor@mail.ru).

*Калинов Александр Алексеевич*, магистрант физико-технического факультета ГрГУ им. Я. Купалы, Гродно, Беларусь, [kalinovsahsa@yandex.ru](mailto:kalinovsahsa@yandex.ru).

*Рабцевич Максим Леонидович*, студент 5 курса физико-технического факультета ГрГУ им. Я. Купалы, Гродно, Беларусь, [Raxel@gmail.com](mailto:Raxel@gmail.com).

Научный руководитель – *Герман Андрей Евгеньевич*, кандидат физико-математических наук, доцент кафедры общей физики ГрГУ им. Я. Купалы, Гродно, Беларусь, [german@grsu.by](mailto:german@grsu.by).

УДК 621.311

В. Д. КОЗЯЧИЙ

### **ТЕПЛОВАЯ ЭНЕРГИЯ НА БАЗЕ ВАКУУМНОГО СОЛНЕЧНОГО КОЛЛЕКТОРА**

В статье «ПЛОСКИЙ СОЛНЕЧНЫЙ КОЛЛЕКТОР КАК ИСТОЧНИК ТЕПЛОВОЙ ЭНЕРГИИ» конференции «№ 2 (49)» рассматривался вопрос об использовании плоского солнечного коллектора как основного источника тепловой энергии и горячего водоснабжения загородного дома. Был проведен подробный расчет тепловой мощности для обогрева помещения, даны рекомендации по выбору типа и марки солнечного коллектора, рассмотрена схема подключения.

Проанализировав все недостатки в данной статье, предлагается система отопления загородного дома с помощью солнечного вакуумного коллектора и сравнение системы отопления с плоским солнечным коллектором.

Солнечный вакуумный коллектор (рисунок 1), представляет собой устройство для нагрева воды посредством солнечной энергии, в отличие от солнечных панелей, которые непосредственно производят электричество. Наибольшее распространение получил солнечный вакуумный коллектор с трубкой типа “Heatpipe”. Принцип работы такой трубки основан на испарение легкоиспаряющейся жидкости находящейся в закрытых трубках, состоящих из теплопроводящих металлов (меди или алюминия). Перенос тепла происходит за счет нагрева жидкости под действием солнечного излучения: жидкость, испаряясь на нижней части трубки, поглощая теплоту, конденсирует в верхней части, а затем снова перетекает вниз и процесс повторяется. Теплоноситель через поглотитель отбирает выделяемое тепло [1].

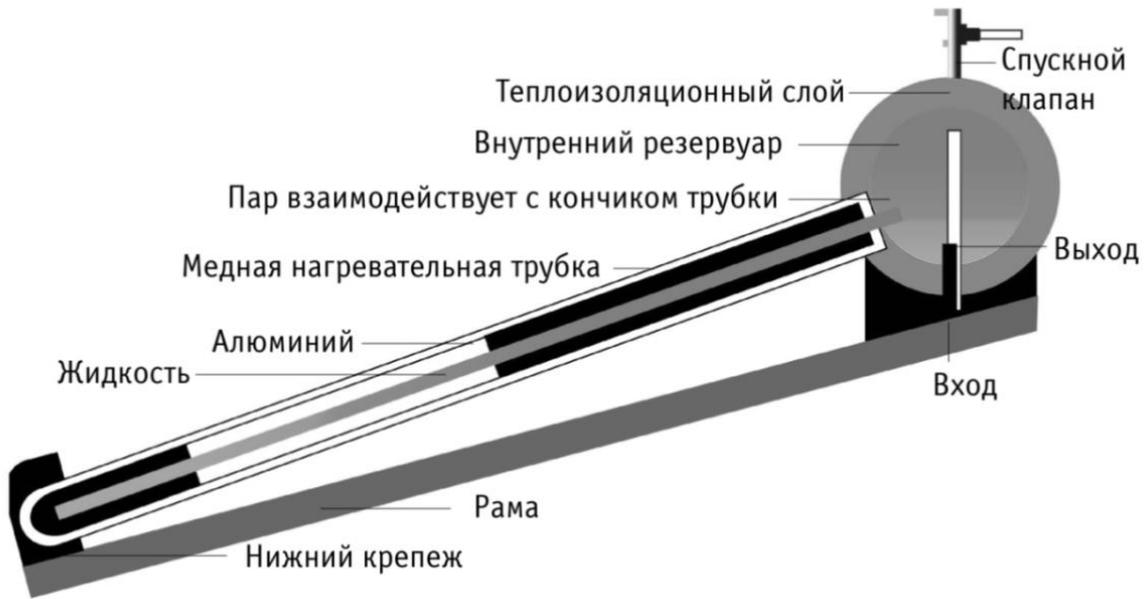


Рисунок 1 – Устройство трубки солнечного вакуумного коллектора [2]

На базе вышеизложенной информации предлагаю систему отопления дома, представленную в статье «ПЛОСКИЙ СОЛНЕЧНЫЙ КОЛЛЕКТОР КАК ИСТОЧНИК ТЕПЛОВОЙ ЭНЕРГИИ». Согласно данной статье, мы имеем дом с 2 жилыми комнатами, санузлом, кухней, котельной и коридором (рисунок 2). Дом построен из кирпича и утеплён пенопластом. Для обогрева данного дома нам необходимо  $6620,39 [Вт]$  энергии.

Проанализировав различные модели солнечных вакуумных коллекторов, наиболее подходящим (цена-качество) для данного проекта является «Комфорт 150» от Белорусского производителя СООО «Голес»[2].

Расчет данного коллектора производился на основе данных, полученных от фирмы производителя. Данный коллектор имеет в своем наличии 15 вакуумных трубок диаметром  $58 [мм]$  и длиной  $1800 [мм]$  каждая. Учитывая среднесуточную инсоляцию по Гродно, равное  $2,78 [кВт \cdot ч / мм^2]$  [3], можно найти, какую мощность будет вырабатывать одна трубка в сутки по формуле(3):



Рисунок 2 – План дома

Площадь одной трубки составляет (2):

$$S = 2 \cdot \pi \cdot R \cdot h = \pi \cdot D \cdot h; \tag{1}$$

$$S = \pi \cdot 58 \cdot 1800 = 327816 [мм^2] = 0,327816 [м^2]; \tag{2}$$

Тогда мощность одной трубки в сутки будет равна (3):

$$0,327816 \cdot 2,78 \cdot 0,94 = 0,856648 [кВт \cdot ч] = 856,648 [Вт \cdot ч]; \tag{3}$$

Мощность установки “Комфорт 150” будет составлять  $12849,72 [Вт \cdot ч]$ , что почти в 2 раза больше чем “Ураган–700” со статьи “Плоский солнечный коллектор как источник тепловой энергии”.

Для данного проекта наиболее целесообразно будет использовать следующие компоненты: 1) Солнечный коллектор (Комфорт 150,1 шт., цена 645\$); 2) Контроллер (SR 868C8Q, цена 115 \$); 3) Бак накопительный (AquasticAQPT 750, цена 560\$); 4) Циркуляционный узел (PROFLineXF 15189, цена 197 \$); 5) Воздухоотводчик (цена 20 \$); 6) Термометр T1 (в солнечный коллектор, цена 35 \$); 7) Сливной – заливной кран (цена 10 \$); 8) Термометр T2 (температура в баке, цена 35 \$); 9) Термометр T3 (перегрева, цена 35 \$); 10) Радиатор алюминиевый (Armatura G350F/10, 8 шт., цена 296 \$); 11) Коллектор (Salus SRTZTP-2, цена 47 \$); 12) Трубы (п/п STABIPLUSS3,2 (STRS020P20E), цена за 38,2 м=68,76 \$).

Таким образом, общая стоимость всех комплектующих для данного проекта составит 2063,76 \$, что на 191 \$ больше, чем аналогичный проект, в статье “Плоский солнечный коллектор как источник тепловой энергии”. Сравнивая “Комфорт 150” с “Ураган–700” можно сделать вывод, что использование плоского солнечного коллектора более выгодно, так как мощности, вырабатываемой “Комфорт 150”, слишком много для данного дома.

#### Список литературы

1. Солнечный вакуумный коллектор: классификация [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://solarsoul.net/typy-vakuumnyx-trubchatyx-solnechnyx-kollektorov#top>. – Дата доступа: 15.02.2018.
2. Водонагревательная гелиосистема Комфорт [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://solarcollector.by/kompaktnyj-vodonagrevatel>. – Дата доступа: 19.02.2018.
3. Уровни солнечной инсоляции. [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://www.reon.by/ob-energetike/solnechnaya-energiya/78-004>. – Дата доступа: 21.02.2018.

This article discusses how to use a vacuum solar collector based on a particular house. This technology helps save space heating costs. The author presented a project for a solar-based heating system and compared it with a flat solar collector.

*Козячий Вадим Дмитриевич*, студент 4 курса физико-технического факультета ГрГУ им. Я. Купалы, Гродно, Беларусь, [vadik\\_karate@mail.ru](mailto:vadik_karate@mail.ru).

Научный руководитель – *Кропачева Людмила Владимировна*, кандидат физико-математических наук, доцент кафедры электротехники и электроники ГрГУ им. Я. Купалы, Гродно, Беларусь, [k\\_lv@mail.ru](mailto:k_lv@mail.ru).

УДК 621.396

В. И. КУРГАНСКИЙ, А. А. УРБАНОВИЧ

## ИСПОЛЬЗОВАНИЕ ПОМЕХОУСТОЙЧИВЫХ КОДОВ ДЛЯ БИОМЕТРИЧЕСКОГО РАСПОЗНАВАНИЯ ДАННЫХ

Приведено исследование помехоустойчивых кодов БЧХ И РС применимых для решения задач биометрии.

Биометрия – система, позволяющая распознать человека и отделить его от других по физическим или поведенческим чертам. В сфере высоких технологий данные, полученные благодаря биометрии, позволяют обеспечить идентификацию доступа пользователя и контроль доступа. В нашем случае используется физиологическая биометрия, которая позволяет провести идентификацию на основе отпечатков пальцев, скана сетчатки глаза, либо голосового семпла[1]. Применение для идентификации такого подхода предоставляет ряд преимуществ: признаки, по которым происходит идентификация, нельзя потерять или забыть, передать третьим лицам в отличие от обычных бесконтактных карт, практически невозможно подделать или украсть. Однако существует также и ряд недостатков, к которым относятся отсутствие возможности 100% достоверности идентификации, относительно высокая стоимость считывателей и, зачастую, слишком продолжительное время процесса идентификации[2].



Рисунок 1 – Блок схема биометрического преобразователя

Для того чтобы обеспечить реализацию повторяемости данных считывания идентификационных данных, используются коды Боуза-Чоудхури-Хоквингема. Это набор циклических кодов, который применяется для

защиты информации от ошибок. Коды Рида – Соломона – недвоичные циклические коды, позволяющие исправлять ошибки в блоках данных. Элементами кодового вектора являются не биты, а группы битов (блоки)[1].

Проверка эффектов в MathLab:

Полученный график кривой помехоустойчивости для кодов RS(63,51), RS(51,39), а также теоретический.

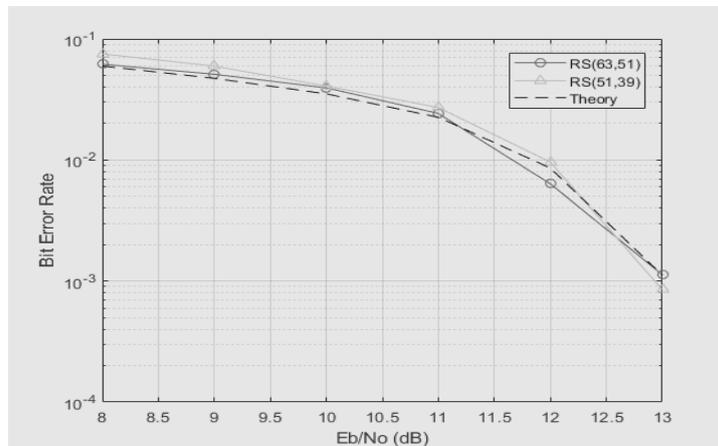


Рисунок 2 – Кривая помехоустойчивости

Из проведенных исследований, можно увидеть, что помехоустойчивые коды позволяют исправлять порядка 10 % ошибок данных и улучшать достоверность биометрических измерений.

The study of noise-immune BCH and RS codes applicable to improve the biometric algorithms is presented.

#### Список литературы

1. Википедия. Свободная Энциклопедия [Электронный ресурс] / Биометрия – Режим доступа: <https://ru.wikipedia.org/wiki/Биометрия>.
2. Свободная энциклопедия [Электронный ресурс] / Обзор биометрических методов идентификации – Режим доступа: <http://protivkart.org/main/10304-obzor-biometricheskih-metodov-identifikacii.html>.

Курганский Вячеслав Игоревич, студент 3 курса физико-технического факультета ГрГУ им. Я. Купалы, Гродно, Беларусь.

Урбанович Анастасия Александровна, студентка 3 курса физико-технического факультета ГрГУ им. Я. Купалы, Гродно, Беларусь.

Научный руководитель – Ассанович Борис Алиевич, кандидат технических наук, доцент кафедры информационных систем и технологий ГрГУ им. Я. Купалы, Гродно, Беларусь.

УДК 537.634

Н. В. ЛЕОНОВИЧ, А. В. АКСЮЧИЦ, Ю. В. ЗАПОРОЖЧЕНКО

### МАГНЕТРОННАЯ РАСПЫЛИТЕЛЬНАЯ СИСТЕМА ДЛЯ НАНЕСЕНИЯ ПРОВОДЯЩИХ МАТЕРИАЛОВ

Представлены результаты исследования разработанной магнетронной распылительной системы (МРС). Построена модель магнитной системы данного магнетрона. Представлены результаты экспериментальных исследований вольт-амперных характеристик разряда.

Тонкопленочные технологии находят широкое применение в микро- и наноэлектронике для изготовления изделий магнито-, крио-, оптоэлектроники и для получения широкого круга оптических покрытий различного назначения. Следует подчеркнуть, что поведение электронов в тонких пленках качественно отличается от поведения в массивах благодаря возникновению новых, так называемых квантовых размерных эффектов. Эти явления используют, в частности, в тонкопленочных микросхемах, составляющих основу современной микроэлектроники. Для получения таких тонких плёнок можно использовать магнетронные распылительные системы.

Физический принцип работы основан на распылении материала, которое происходит за счет бомбардировки поверхности мишени ионами рабочего газа, образующимся в аномальном тлеющем разряде. Высокая скорость распыления, характерная для этих систем, достигается увеличением плотности ионного тока за счет локализации плазмы у распыляемой поверхности мишени с помощью сильного поперечного магнитного поля, которое снижает подвижность электронов поперек силовых линий магнитного поля. При подаче постоянного напряжения между мишенью (отрицательный потенциал) и анодом (положительный потенциал) возникает неоднородное электрическое поле и возбуждает аномальный тлеющий разряд.

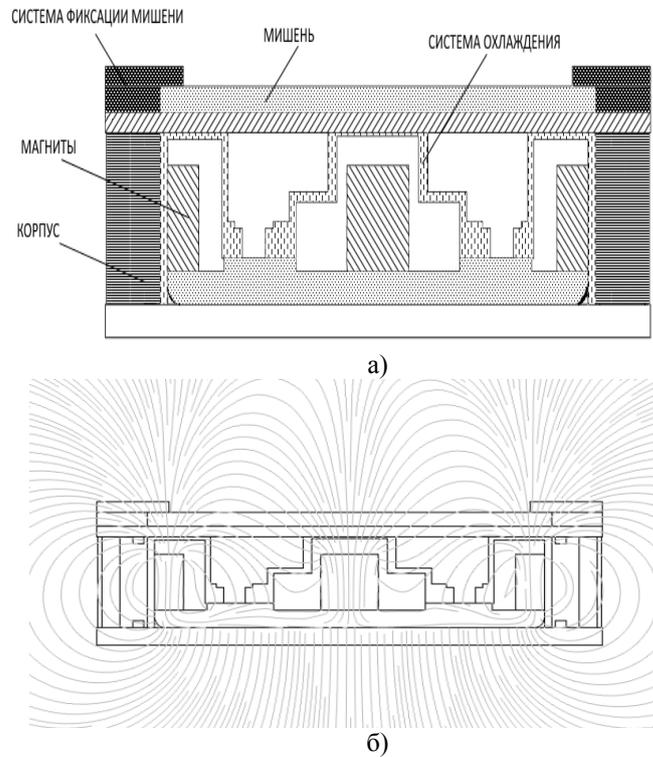


Рисунок 1 – Схематическое изображение ионно-плазменной магнетронной распылительной системы

Как видно из рисунка 1а магнетрон состоит из корпуса, системы охлаждения, магнитной системы, мишени. В качестве источника поля использованы постоянные магниты из NdFeB с остаточной магнитной индукцией для центрального 550 и для периферийных 300 мТл. Для работы МРС в камеру подается рабочий газ – аргон.

Основная задача в процессе моделирования заключалась в формировании эффективной магнитной ловушки, которая позволяет повысить коэффициент использования материала мишени. Расчет производился в программе COMSOL Multiphysics, модель магнитного поля показана на рисунке 1б.

Приведенные на рисунке 2 зависимости показывают, что величина горизонтальной составляющей ( $B_x$ ) индукции магнитного поля превышает вертикальную составляющую ( $B_y$ ) магнитного поля в форме кольца шириной от 25 до 30 мм над мишенью. В этой области наибольшая эффективность магнитной ловушки. Происходит дрейф замагниченных электронов с последующей ионизацией и активным распылением мишени. На рисунке 2 представлено распределение величины магнитной индукции в зависимости от диаметра мишени на расстоянии одного миллиметра 2а и пяти миллиметров над мишенью 2б.

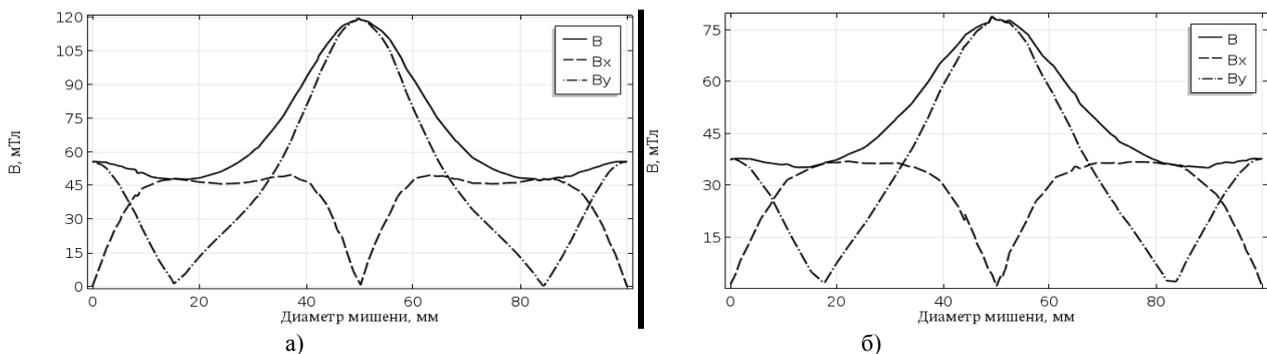
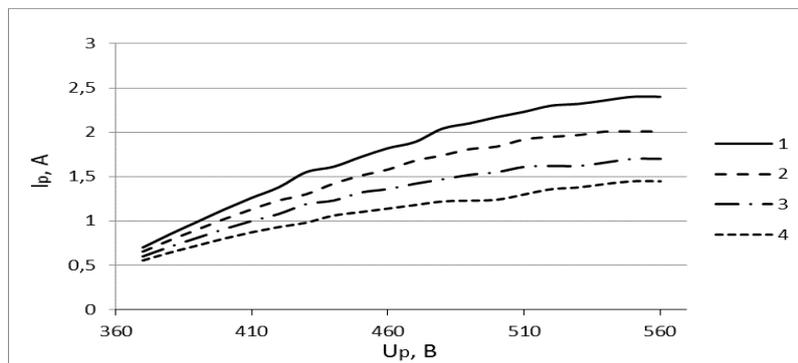


Рисунок 2 – Зависимость величины магнитной индукции от расстояния: а) 1 мм от мишени; б) 5 мм от мишени

Учитывая физический принцип магнетронного распыления, конструктивных особенностей магнетронных систем и результатов расчета магнитной системы был изготовлен, собран и испытан экспериментальный образец магнетрона с диаметром мишени 100 мм. Результаты экспериментальных исследований вольт-амперных характеристик разряда представлены на рисунке 3.



**Рисунок 3 – Вольт-амперные характеристики магнетрона, при давлении в камере:**  
1)  $4 \cdot 10^{-1}$  Па; 2)  $2 \cdot 10^{-1}$  Па; 3)  $1 \cdot 10^{-1}$  Па; 4)  $8 \cdot 10^{-2}$  Па

При экспериментальном испытании разработанной распылительной магнитной системы формируется эффективная магнитная ловушка, при напряжении 560 В ток разряда составляет 2,4 А при давлении в камере  $4 \cdot 10^{-1}$  Па, и при этом выработка материала мишени составляет 30–35%.

#### Список литературы

1. Титов, Ю. В. Получение ультрадисперсного порошка ферромагнетиков на мельнице тонкого помола / Ю. В. Титов, А. Г. Кисель, Д. С. Реченко // XIX Международная научно-практическая конференция «Современные техника и технологии» Томск, 15–19 апреля 2013. – С. 451–452.
2. Васильев, Л. С. О пределе измельчения металлов методом механического диспергирования / Л. С. Васильев, С. Ф. Ломаева // Химия в интересах устойчивого развития 10. – 2002. – С. 13–22.
3. Мержанов, А. Г. Твердопламенное горение. / А. Г. Мержанов – Черногловка : ИСМАН, 2000. – 224с.

The results of the investigation of the modernized magnetron sputtering system (MPC) has been presented. A model of the magnetic system of a given magnetron has been constructed. The results of experimental studies of the current-voltage characteristics of the discharge has been presented.

*Аксюцц Александр Владимирович*, студент 4 курса факультета радиотехники и электроники БГУИР, Минск, Беларусь, alex.ak11996@mail.ru.

*Леоневич Никита Викторович*, студент 4 курса факультета радиотехники и электроники БГУИР, Минск, Беларусь, nick.xz@mail.ru.

*Запороженко Юлия Владимировна*; студентка 4 курса факультета радиотехники и электроники БГУИР, Минск, Беларусь, yli9sedlezka9@mail.ru.

Научный руководитель – *Котов Дмитрий Анатольевич*, кандидат технических наук, доцент кафедры микро- и нанoeлектроники БГУИР, Минск, Беларусь, kotov@bsuir.by.

УДК 621.039.587

ЛЭ ТХИ ЗИЕУ ХЬЕН

### МОДЕЛИРОВАНИЕ ПЕРЕНОСА ЗАРЯДОВ В АКТИВНОМ ОБЪЕМЕ ИОНИЗАЦИОННОЙ КАМЕРЫ ДЕЛЕНИЯ, РАБОТАЮЩЕЙ В ТОКОВОМ РЕЖИМЕ

Исследован перенос зарядов в токовом режиме в активном объеме цилиндрической ионизационной камеры деления. Найдены распределения электрического поля внутри активного объема для двух типов камер – миниатюрной камеры и «большой» камеры с учетом пространственного заряда. В пренебрежении процессами диффузии и рекомбинации ионов рассчитаны чувствительность и выходной ток камеры.

Ионизационная камера деления (ИКД) широко используется как нейтронный монитор в медицинских установках, ядерных реакторах, в экспериментах на ускорителях.

ИКД может работать в трех режимах: импульсном, токовом и флуктуационном (Campbell mode). При измерениях низкоинтенсивных нейтронных потоков (когда импульсы напряжения от отдельных нейтронов не

перекрываются) камера может работать в импульсном режиме. При измерениях высокоинтенсивных нейтронных потоков (выше  $10^{14}$  нейтр. $\cdot$ см $^{-2}$ .с $^{-1}$  [1]) обычно используется токовый режим камеры. При больших потоках нейтронов используется еще один режим работы – Campbell mode. Этот режим работы камеры представляет большой интерес в условиях сильного гамма фона.

В простейшем случае ИКД состоит из двух электродов (плоских или цилиндрических): радиатора (обычно анода) и катода. Радиатор – это электрод, на который нанесен тонкий слой делящегося вещества, обычно  $^{235}\text{U}$ . Межэлектродное пространство (активный объем) заполнено специальным газом (обычно Ar с небольшой примесью азота). При каждом делении ядра в радиаторе ИКД рождаются два фрагмента. Фрагменты испускаются в противоположных направлениях, один из них обычно удерживается в радиаторе, другой летит в активный объем камеры и производит ионизацию газа. При наличии высокого напряжения между электродами возникает дрейф ионов и электронов к соответствующим электродам и, как следствие, во внешней цепи возникает электрический ток. Зависимость тока от приложенного напряжения определяет вольтамперную характеристику газоразрядных приборов, рабочий режим ИКД находится на плато этой кривой. Это означает, что в токовом режиме ИКД ток насыщения пропорционален плотности потока нейтронов.

Различные аспекты определения характеристик ИКД в токовом режиме исследовались в многочисленных публикациях [см, например, [1, 2, 3] и цитированную там литературу]. В то же время в ряде из них (см. например, [1]) использовалось не всегда применимое приближение постоянства плотности ионизации вдоль трека частицы в газе  $X(s)=\text{const}$ ,  $s$  – координата вдоль трека. В других же задачи решались либо в модельных случаях, когда фрагменты испускаются строго перпендикулярно радиатору [2, 3], либо использовано некорректное приближение для пространственного распределения начальной ионизации в рабочем объеме [1]. Поэтому представляет интерес провести самосогласованное вычисление характеристик ИКД в токовом режиме (ток, чувствительность, параметры плато).

Чувствительность токовой ИКД определяется по формуле:

$$\eta = \frac{I}{\Phi}, \quad (1)$$

где  $I$  – ток камеры,  $\Phi$  – плотность потока нейтронов в месте размещения камеры.

В рамках работы, используем численное моделирование, самосогласованным образом устанавливается связь тока камеры с потоком нейтронов с учетом распределения электрического поля в объеме ИКД, принимая во внимание образующийся в камере пространственный заряд и корректный учет начальной ионизации в камере и плотности ионизации вдоль трека частицы.

Основными уравнениями, описывающие транспорт электронов и ионов, являются уравнения непрерывности для соответствующих частиц:

$$\begin{aligned} \frac{\partial N_e(r,t)}{\partial t} + \text{div } i_e &= S_e - L_e; \\ \frac{\partial N_i(r,t)}{\partial t} + \text{div } i_i &= S_i - L_i \end{aligned}, \quad (2)$$

где  $(N_e, N_i)$ ,  $(i_e, i_i)$  – пространственная плотность и плотность потока электронов и ионов, соответственно;  $S_e, S_i, L_e, L_i$  – члены, описывающие их источник и потери. Они представляют собой плотность соответствующих частиц возникающих ( $S$ ) и исчезающих ( $L$ ) в единицу времени в единице объема газа камеры.

Электрическое поле подчиняется уравнению Пуассона:

$$\text{div } E = 4\pi e (N_i - N_e), \quad (3)$$

где  $e$  – заряд электрона,  $E$  – напряженность электрического поля.

Так как ИКД работает на плато вольт-амперной характеристики, начальная плотность ионизации, создаваемая тяжелыми заряженными частицами в активном объеме камеры, выполняет роль источника  $S$  в уравнениях (2). Начальную плотность ионизации можно рассчитать для двух случаев: модель 1 – приближение постоянства линейной плотности ионизации вдоль трека:  $X(s)=X(s=0)=X_0$ , модель 2 – учет зависимости линейной плотности ионизации  $X(s)$  от координаты вдоль трека. Первый случай применим для миниатюрных камер (характерный размер камеры много меньше длины пробега основных фрагментов деления) и величину  $X_0$  можно использовать как их характеристику. Эти камеры преимущественно используются для контроля активной зоны. Второй случай следует применять для произвольного соотношения длины пробега и размеров цилиндрической камеры (ниже условно называемые «большие» камеры). Для модели 2 плотность ионизации должна быть усреднена для данной конструкции камеры по массе  $m$ , энергии  $E$  и заряду ядра  $Z$  фрагмента в соответствии вероятностью появления фрагмента с определенными значениями  $Z, m, E$  при делении ядра урана. Это усреднение выполнено с помощью программы GEF, предназначенной для моделирования процессов ядерного деления и программы SRIM, предназначенной для расчета энергетических потерь ионов в веществе.

Чтобы найти полный ток и чувствительность камеры, необходимо для конкретной геометрии найти решение уравнений (2), (3). Пренебрегая диффузией электронов и ионов и функцией потерь ( $L_1$  и  $L_e$ ) уравнения (2) (3) решены для двух моделей в двух случаях: миниатюрной камеры и большой камеры.

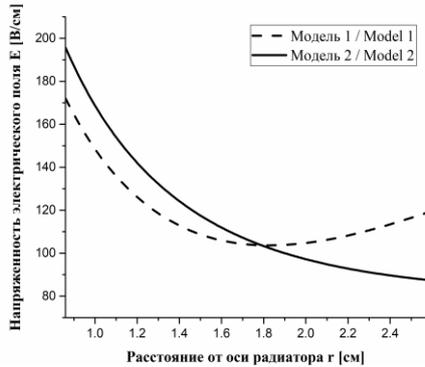


Рисунок 1 – Радиальная зависимость напряженности электрического поля

На рис. 1 приведена радиальная зависимость электрического поля для обеих моделей в случае большой камеры, описанной в [3]. Она имеет следующие параметры: радиус анода  $r_a = 0.8595$  см, радиус катода  $r_c = 2.5695$  см, длина активного объема камеры  $h = 15.24$  см, плотность  $^{235}\text{U}$  в радиаторе  $\mu_s = 680$   $\mu\text{г}/\text{см}^2$ . Скорость деления в камере для предполагаемого потока нейтронов  $\chi = 1.48 \cdot 10^{-15}$  дел./с. Напряжение на камере 200 В. Видно, что приближение миниатюрной камеры для камеры из [3] приводит к нефизическому росту поля на ее периферии.

Кроме «большой» камеры из [3], расчеты были проведены также для миниатюрной камеры из [1]. В таблице 1 приведены выходные токи рассмотренных ИКД при заданной скорости деления  $\chi = 1.48 \cdot 10^{-15}$  дел./с, чувствительность камер при значении среднего сечения деления ядра  $^{235}\text{U}$  при тепловых энергиях  $\sigma_{th} = 572$  барн [3]. Для сравнения рядом с рассчитанным значением чувствительности приведены также их значения для камер из [4].

Таблица 1 – Выходные токи и чувствительность рассмотренных ИКД для скорости деления  $^{235}\text{U}$   $\chi = 1.48 \cdot 10^{-15}$  дел./с

Приближение	Миниатюрная камера из [1], тепловые нейтроны		«Большая» камера из [9], тепловые нейтроны	
	Ток (А)	Чувствительность (А.нейтр <sup>-1</sup> .см <sup>2</sup> .с)	Ток (А)	Чувствительность (А.нейтр <sup>-1</sup> .см <sup>2</sup> .с)
миниатюрная камера: X(s)=const	$1.08 \cdot 10^{-10}$	$4.15 \cdot 10^{-17} / 1.50 \cdot 10^{-17} *$	$2.68 \cdot 10^{-7}$	$1.03 \cdot 10^{-13} / 1.05 \cdot 10^{-14} *$
«большая» камера: X(s) ≠ const	$5.69 \cdot 10^{-11}$	$2.20 \cdot 10^{-17} / 1.50 \cdot 10^{-17} *$	$5.84 \cdot 10^{-8}$	$2.26 \cdot 10^{-14} / 1.05 \cdot 10^{-14} *$

\*) Чувствительность для камер из [4], имеющих геометрические параметры, близкие к параметрам камер из [1, 3].

Результаты, представленные в таблице, показывают, что использование приближения постоянства плотности ионизационных потерь вдоль трека ( $X(s) = \text{const}$ , приближение миниатюрных камер) для камер большого размера приводит к ошибке в чувствительности величиной в порядок и более.

Список литературы

1. Chabod, S. Modelling of Fission Chambers in Current Mode – Analytical Approach / S. Chabod, G. Fioni, A. Letourneau, F. Marie // Nuclear Instruments and Methods in Physics Research A. – 2006. – № 566. – P. 633–653.
2. Poujade, O. Modeling of the saturation current of a fission chamber taking into account the distortion of electric field due to space charge effects / O. Poujade, A. Lebrun // Nuclear Instruments and Methods in Physics Research A. – 1999. – № 433. – P. 673.
3. Hadad, K. Analysis and optimization of a fission chamber detector using MCNP4C and Srim Monte Carlo codes / K. Hadad, M. Hashemi // Iranian Journal of Science & Technology, Transaction A, Vol. 33, No. A3.
4. Neutron Flux Detectors for nucleonic systems [Electronic resource]. – Mode of access: <http://www.ultra-ncs.com/neutron-flux-trip-systems/31-neutron-flux-detectors/file>. – Date of access: 4.12.2017.

The distributions of the electric fields inside the active volume were found for two types of chambers - miniature chambers and "large" chambers, taking into account the space charge. Neglecting processes of ion diffusion and recombination, the sensitivity and output current of the chamber in stationary mode are calculated.

Лэ Тхи Зуеу Хьен, аспирантка физического факультета БГУ, Минск, Беларусь, hienle.job@gmail.com.

Научный руководитель – Кутень Семен Адамович, кандидат физико-математических наук, заведующий лабораторией Института ядерных проблем БГУ, semen\_kuten@list.ru.

## ИСПОЛЬЗОВАНИЕ КОНФОКАЛЬНОГО СПЕКТРОМЕТРА ДЛЯ ИССЛЕДОВАНИЯ ПЕРОВСКИТНЫХ СОЛНЕЧНЫХ ЭЛЕМЕНТОВ И ПРОЦЕССОВ ИХ ФОТОДЕГРАДАЦИИ

Гибридные органо-неорганические перовскиты перспективны для создания высокоэффективных тонкопленочных солнечных элементов (СЭ), однако их практическое применение сдерживается низкой фотостабильностью. В данной работе описаны возможности исследования перовскитных солнечных элементов и процессов их фотодегradации с помощью конфокального спектрометра.

Стремительный рост цен на традиционные виды топлив, а также негативное воздействие их продуктов горения на окружающую среду заставили человечество обратиться к использованию альтернативных источников энергии, одним из которых является солнечный свет. На сегодняшний день среди различных типов солнечных элементов доминируют кремниевые. Необходимость удешевления СЭ привела к развитию тонкопленочных технологий, среди которых в настоящее время наибольшее распространение получили подходы, основанные на использовании в качестве фотопоглощающего слоя CdTe и Cu(In,Ga)Se<sub>2</sub> [1]. Однако

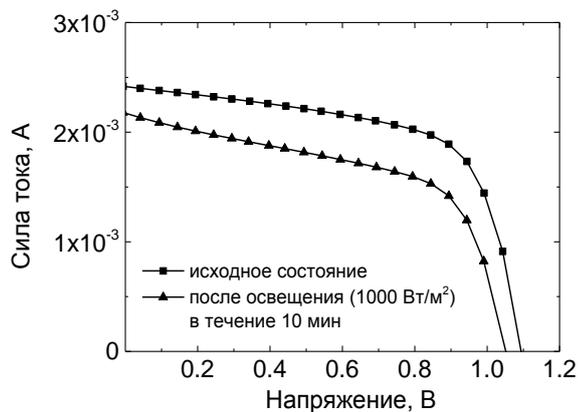


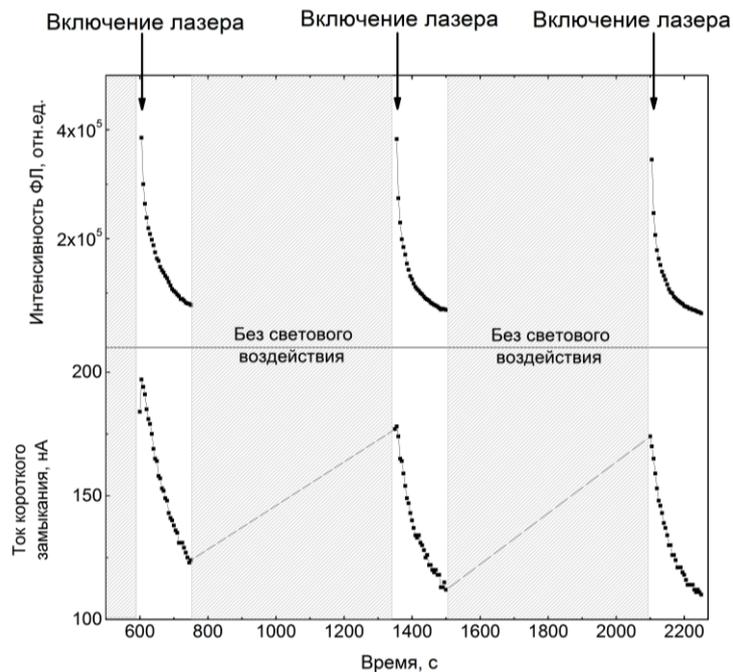
Рисунок 1 – Вольт-амперные характеристики ПСЭ до и после освещения белым светом

высокая стоимость индия и галлия, равно как и использование высокотоксичных химических элементов [2] заставляют мировое фотовольтаическое сообщество искать новые фотопоглощающие материалы. Одними из таких материалов являются гибридные органо-неорганические перовскиты (ГОНП) состава ABX<sub>3</sub> (A – метиламмоний, формамидин или Cs; B – Pb или Sn; X – I, Br, Cl). ГОНП характеризуются сильным поглощением света, близкой к оптимальному значению шириной запрещенной зоны, достаточно большими временами жизни носителей заряда, а также экономичным способом синтеза [3]. ГОНП впервые были предложены к использованию в качестве фотопоглощающего слоя в 2009 году, и на тот момент их КПД достигал всего 3,1 % [4]. В настоящее время удалось повысить КПД перовскитных солнечных элементов (ПСЭ) до 22,7 % за счет изменения химического состава поглощающего слоя, а также оптимизации структуры

солнечного элемента в целом [5]. Однако быстрая деградация ПСЭ под воздействием тепла, влаги, кислорода и солнечного света препятствует их коммерческой эксплуатации. Основной проблемой является именно фотодегradация, поскольку влияние остальных факторов можно легко минимизировать [6, 7]. Фотодегradация проявляется в снижении КПД ПСЭ, что можно зафиксировать при измерении вольт-амперных характеристик (рисунок 1). Известно, что эффективность любого солнечного элемента определяется процессами генерации, транспорта и рекомбинации носителей заряда [8]. В настоящее время установлено, что при освещении ПСЭ параллельно реализуются разные явления, влияющие на указанные выше процессы и приводящие к падению эффективности ПСЭ. Среди них можно выделить образование центров безызлучательной рекомбинации носителей заряда, дрейф ионов, приводящий к изменению электрического поля в ПСЭ, формирование встроенных зарядов на границах между фотопоглощающим и транспортными слоями [9]. На поздних стадиях деградации возможна диффузия золота из контакта в активную область, а также разложение перовскитного материала с формированием новых фаз (например, PbI<sub>2</sub>) [10]. Некоторые из этих процессов являются обратимыми, что приводит к восстановлению (по крайней мере, частичному) параметров ПСЭ в темноте в реальных условиях их работы [11]. Многообразие процессов, протекающих в ходе функционирования ПСЭ, заставляет применять для их изучения широкий комплекс аналитических методов.

Для установления механизмов фотодегradации ПСЭ нами было предложено использовать конфокальный спектрометр Nanofinder HE (LOTIS ТП, Беларусь – Япония), предназначенный для измерения спектров комбинационного рассеяния света (КРС) и фотолюминесценции (ФЛ). В предложенном подходе лазерный луч используется (1) для возбуждения спектров КРС и ФЛ; (2) для локального измерения фотоэлектрических параметров СЭ (тока короткого замыкания и напряжения холостого хода); (3) в качестве источника фотодегradации. Наличие 3D пьезосканера позволяет выполнять картирование спектральных и фотоэлектрических параметров, что важно для установления однородности исследуемых объектов. Предложенный подход позволяет получить информацию о фазовом составе и спектре электронных состояний (по спектрам КРС и ФЛ), а также о динамике носителей заряда. Регистрируя спектры ФЛ и КРС, ток короткого замыкания и напряжение холостого хода в процессе освещения лазерным лучом, можно наблюдать эволюцию системы в online режиме, что дает представление о процессах, происходящих в СЭ при их освещении.

В качестве примера на рисунке 2 представлена эволюция интенсивности полосы ФЛ и тока короткого замыкания ПСЭ. Как видно, оба параметра изменяются в унисон, что указывает на генерацию центров рекомбинации носителей заряда в данном солнечном элементе как на главную причину падения тока. Отметим, что вид кинетик может существенно изменяться на разных стадиях «жизненного цикла» ПСЭ. Их анализ послужил предметом отдельной подготовленной нами публикации.



**Рисунок 2 – Кинетики интенсивности ФЛ и тока короткого замыкания ПСЭ при циклическом освещении лазером (0,6 мкВт, 532 нм)**

Работа была выполнена при поддержке Белорусского республиканского фонда фундаментальных исследований (договор № Ф16МС-015).

#### Список литературы

1. National Renewable Energy Laboratory [Electronic resource] : Cadmium Telluride Solar Cells. – Mode of access: <https://www.nrel.gov/pv/cadmium-telluride-solar-cells.html>. – Date of access: 20.02.2018.
2. Tchounwou, P. B. Heavy Metals Toxicity and the Environment. / P. B. Tchounwou [et al.] // NIH Public Access. – 2012. – Vol.101. – P. 133-164.
3. Chen, Q. Under the spotlight: The organic–inorganic hybrid halide perovskite for optoelectronic applications / Q. Chen [et al.] // Nano Today. – 2015. – Vol. 10, № 3. – P. 355–396.
4. Kojima, A. Organometal Halide Perovskites as Visible-Light Sensitizers for Photovoltaic Cells / A. Kojima Chen [et al.] // Journal of the American Chemical Society. – 2009. – Vol. 131. – P. 6050–6051.
5. Hörantner, M. T. Predicting and optimising the energy yield of perovskite-on-silicon tandem solar cells under real world conditions / M. T. Hörantner, H. J. Snaith // Energy Environ. Sci. – 2017. – Vol. 10. – P. 1983–1993.
6. Molecular Devices for Solar Energy Conversion // Stability of Molecular Devices: Halide Perovskite Solar Cells / Y. Reyna [et al.]. – Springer. – Singapore, 2018. – Ch. 13. – P. 477–531.
7. Asghar, M. I. Device stability of perovskite solar cells / M. I. Asghar [et al.] // Renew. Sust. Energ. Rev. – 2017. – Vol. 77. – P. 131 – 146.
8. Gratzel, M. Organic-Inorganic Halide Perovskite Photovoltaics: From Fundamentals to Device Architectures / M. Gratzel, N. G. Park, T. Miyasaka. –Springer. – Switzerland, 2016. – P. 366.
9. Ahn, N. Trapped Charge-Driven Degradation of Perovskite Solar Cells / N. Ahn [et al.] // Nature Communications. – 2016. – Vol. 7, № 13422. – P. 24.
10. Giorgi, G. Theoretical Modeling of Organohalide Perovskites for Photovoltaic Applications / G. Giorgi, K. Yamashita. – CRC Press. – New York, 2017. – P. 229.
11. Khenkin, M.V. Perovskite Photovoltaics: from Reversible to Irreversible Processes / M.V. Khenkin [et al.] // ACS Applied Energy Materials. – 2018. – Vol. 10, № 1021. – P. 13.

Hybrid organic-inorganic perovskites are promising for creation of efficient thin film solar cells. However, their practical implementation is hindered by a poor photostability. In this paper, we describe the possibilities to study perovskite solar cells and processes of their photodegradation using a confocal spectrometer.

*Магонь Наталья Сергеевна*, магистрант физического факультета, кафедры энергофизики БГУ, Минск, Беларусь, natalimahon@gmail.com.

Научный руководитель – *Мазаник Александр Васильевич*, кандидат физико-математических наук, доцент кафедры энергофизики БГУ, Минск, Беларусь, mazanikalexander@gmail.com.

УДК 621.354

И. А. МАЗАЙЛО

## ГИБРИДНЫЕ СИСТЕМЫ НАКОПЛЕНИЯ ЭЛЕКТРОЭНЕРГИИ НА ОСНОВЕ АККУМУЛЯТОРНЫХ БАТАРЕЙ

Рассмотрены перспективные системы накопления электроэнергии (СНЭ) на основе аккумуляторных батарей и их гибридное исполнение с другими накопителями электроэнергии.

Актуальность темы связана с развитием технологий накопления электроэнергии, а также “зелёной энергетики”. Стремительно увеличивается потребность в современных системах накопления электроэнергии, затрагивающая практически все сферы деятельности. Такие системы особенно востребованы, где необходимо не только высокое качество электроэнергии, но и регулирование графиков потребления мощности, интеграция электроустановок с панелями солнечных батарей, ветротурбинами, аварийное, резервное и бесперебойное питание [1,9].

В настоящее время в мире проводятся активные научные поиски путей усовершенствования уже известных и разработки новых систем накопления энергии.

Перспективной концепцией энергетики по достижению наибольшей эффективности функционирования каждого из элементов сети электроэнергии является создание “умных сетей” (SMART GRID) [2,3,6]. Такие сети должны обеспечить оптимизацию и контроль выработки, передачи и потребления электроэнергии в течение реального времени. Предполагается, что системы накопления энергии станут ключевыми элементами “умных сетей”. Ниже перечислены основные функции СНЭ [3]:

— выравнивание графиков нагрузки в сети. Накопление электрической энергии в периоды ее избытка и выдача на нагрузку в периоды дефицита позволяет снизить требуемую установочную мощность для потребителя и использовать электроэнергию преимущественно в период действия льготного тарифа. Кроме того, характер нагрузки для некоторых технологических процессов (работа лифтов, мощных подъемных кранов, станции зарядки электромобилей и т.п.) имеет ярко выраженный пиково-кратковременный характер. Применение СНЭ позволяет сгладить эти пики;

– обеспечение динамической устойчивости локальных электрических сетей при резких изменениях нагрузки. Одной из важных проблем в локальных электрических сетях конечной мощности («мягких» сетях) является обеспечение их устойчивости при резких изменениях режимов работы нагрузки (сбросе/набросе нагрузки), а также регулирования параметров этих сетей (частоты). Как правило, для этих целей применяются дополнительные источники генерации, большую часть времени находящиеся в резерве. Применение СНЭ является более эффективным решением;

– оптимизация режима работы генератора. Применение СНЭ позволяет использовать генераторы (дизель-генераторные установки) в наиболее оптимальном режиме, что позволяет увеличить КПД установки и снизить вредные выбросы;

– улучшение параметров электрической сети (повышение коэффициента мощности, улучшение коэффициента гармонических искажений);

– снятие или существенное сокращение нерегулярных колебаний в межсистемных линиях электропередачи, повышение пропускной способности линий электропередачи;

– обеспечение бесперебойного питания особо ответственных потребителей.

Целью создания СНЭ является обеспечение длительности, надежности, оптимизации, эффективности режимов работы генераторных установок, а также применение современных технологий использования устройств накопления электроэнергии (на базе аккумуляторных батарей и их совместное исполнение с другими типами накопительных элементов, таких как суперконденсаторы, маховики и другие накопительные элементы).

Анализируя способы преобразования энергии возобновляемых источников, следует отметить, что проблема накопления энергии является одной из ключевых. В настоящее время существует достаточно много систем накопления, предполагающих хранение энергии в виде тепловой, механической, химической или электрической энергии. В данной работе рассмотрены СНЭ на основе аккумуляторных батарей.

В результате проведенного анализа основных видов аккумуляторов электроэнергии выделены следующие типы аккумуляторов, используемых в СНЭ: свинцово-кислотные, натрий-серные, литий-ионные, никель-кадмиевые, никель-металлогидридные, редокс-аккумуляторы. Наиболее применяемыми электрохимическими аккумуляторами для высокоэффективных СНЭ являются литий-ионные аккумуляторы [4,8].

Для повышения технико-экономических характеристик аккумуляторных СНЭ, созданы гибридные накопители, построенные на комбинации аккумуляторной батареи и батареи суперконденсаторов. Данная гибридная система накопления электроэнергии создана для обеспечения стабильной и устойчивой работы децентрализованных и нетрадиционных источников энергии, работающих как автономно, так и в составе электроэнергетических систем [6,7,9].

ГСНЭ состоит из следующих модулей: батарея литий-ионных аккумуляторов (ЛИА); батарея суперконденсаторов (БСК); устройств согласования с сетью (УСС); система защиты, контроля и мониторинга параметров батарей (СЗК).

Батарея ЛИА предназначена для накопления электроэнергии из сети в период снижения нагрузки сети ниже номинального уровня и отдачи ее в сеть. В период возрастания нагрузки выше номинального уровня эта батарея отдает запасенную электроэнергию в сеть. Батарея дополнительно снабжена устройством интеллектуального управления [4,5,8].

БСК позволяет сглаживать кратковременные пики потребления и связанные с этим провалы в сетевом напряжении. Кроме того, батарея суперконденсаторов используется для улучшения формы электродвижущей силы (ЭДС) сетевого напряжения и при необходимости для компенсации формы потребляемого автономной нагрузкой тока из сети.

УСС состоят из двух одинаковых блоков: один для работы с батареей ЛИА, другой – с БСК и представляют собой два преобразователя постоянного тока в переменный (и наоборот) с соответствующим согласованием уровней напряжений. Этот модуль обеспечивает независимое управление активной и реактивной мощностью. УСС также осуществляет функции системы управления гибридного накопителя электроэнергии (ГНЭ) и активного фильтра сети, что позволяет существенно улучшить качество электрической энергии за счёт использования алгоритмов компенсации токов обратной последовательности по основной гармонике и компенсации гармоник близких к основной.

СЗК представляет собой некоторый набор компонентов (специализированные микросхемы или элементы общего назначения), обеспечивающий: отслеживание заданных параметров аккумуляторов и аккумуляторной батареи, определенный алгоритм функционирования аккумуляторной батареи с целью ее безопасной эксплуатации и повышения эксплуатационных характеристик (например, аварийное отключение аккумуляторов от внешних цепей заряда или разряда при чрезмерных токах; повторное подключение при установке уровней, соответствующих допустимым), передачу пользователю информации (визуально или через интерфейс связи) о значениях контролируемых параметров, возможность изменения пользователем установок контролируемых параметров. Необходимо отметить, что СЗК – не всегда единый блок или модуль. В некоторых случаях целесообразно разделить систему на составляющие, часть которых может представлять конструктивно не связанные с аккумуляторными батареями модули.

Таким образом, ГСНЭ на базе аккумуляторных батарей и суперконденсаторов позволяет повысить стабильность энергосистемы и качество напряжения в сети, обеспечивая благодаря применению суперконденсаторов активное восстановление формы сетевого напряжения, компенсацию потребляемого автономной нагрузкой несинусоидального тока и увеличение ресурса дорогостоящих аккумуляторных батарей, решить многие задачи в сфере энергосбережения как для частных лиц, так и для крупных промышленных объектов. Применение ГСНЭ в больших городах внесет свой вклад в решение проблемы загрязнения окружающей среды, позволит сократить расход топлива в дизель-генераторных установках и, соответственно, снизить количество вредных выбросов в атмосферу [5,6,7].

#### Список литературы

1. Волчок, В. А. Нетрадиционные и возобновляемые источники энергии. Солнечная энергетика: пособие / В. А. Волчок, В. Н. Комар. – Гродно : ГрГУ им. Я. Купалы, 2017. – 55 с.
2. Волчок, В. А. Инновационное развитие нетрадиционных и возобновляемых источников энергии на основе Smart Grids и Micro Grids технологий / В. А. Волчок // Современные информационные технологии в системе научного и учебного эксперимента: опыт, проблемы, перспективы: материалы III междунар. науч.-метод. конф. (Гродно, 14–15 мая 2015 г.) / ГрГУ им. Я. Купалы; редкол.: В. Г. Барсуков (гл. ред.) [и др.]. – Гродно: ГрГУ, 2015. – С. 20–23.
3. Разработка системы управления для двунаправленного инвертора мощностью до 500 кВт [Электронный ресурс] / Системы Постоянного Тока. – Режим доступа: <http://www.systemct.ru/article/2>. – Дата доступа: 07.12.2017.
4. Аккумуляторы. Что мы знаем о них. [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://elisjava.wixsite.com/npmach-new/interesting>. – Дата доступа: 25.10.2017.
5. Седых, Н. А. Система накопления и хранения электроэнергии на основе аккумуляторных батарей. Статья / Н. А. Седых // [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://www.systemct.ru/article/4>. – Дата доступа: 23.01.2018.
6. Системы накопления энергии [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://www.optima.ru/services/1067/1072/>. – Дата доступа: 08.01.2018.
7. Гибридная система накопления энергии для электроэнергетических систем на базе литий ионных аккумуляторов и суперконденсаторов [Электронный ресурс]. Режим доступа: [http://www.energystrategy.ru/projects/Energy\\_21/5-3B.pdf](http://www.energystrategy.ru/projects/Energy_21/5-3B.pdf). – Дата доступа: 20.01.2018.
8. Типы аккумуляторов [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://www.powerinfo.ru/accumulatortype.php>. – Дата доступа: 15.11.2017.

9. Системы накопления электроэнергии и ИБП [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://piter-comotors.ru/index.php?categoryID=259>. – Дата доступа: 29.01.2018.

Perspective electric power storage systems based on accumulator batteries and their hybrid design with other energy storage devices are considered. The main components of hybrid power storage systems are described.

*Мазайло Иван Александрович*, студент 3 курса физико-технического факультета ГрГУ им. Я. Купалы, Гродно, Беларусь, [figorolol@mail.ru](mailto:figorolol@mail.ru).

Научный руководитель – *Волчок Валерий Александрович*, кандидат технических наук, доцент кафедры электротехники и электроники ГрГУ им. Я. Купалы, Гродно, Беларусь, [wwa@grsu.by](mailto:wwa@grsu.by).

УДК 621.315.592

В. А. МАКАРСКИЙ, Ш. Н. ПАНЦУЛАЯ

### **ВАРИАНТЫ УСОВЕРШЕНСТВОВАНИЯ КЛАССИЧЕСКОЙ ЗОЛЬ-ГЕЛЬ ТЕХНОЛОГИИ ФОРМИРОВАНИЯ НАНОСТРУКТУРИРОВАННЫХ СЛОЁВ**

Предлагаются варианты усовершенствования золь-гель технологии, путём различных воздействий на границу раздела «золь-подложка», с целью управления процессами смачивания. Показано, что воздействие электрическим полем определённой частоты ведёт к нагреву системы, а следовательно, к изменению смачиваемости границы раздела фаз.

В настоящее время на кафедре «Микро- и нанoeлектроника» БГУИР разрабатываются различные технологические процессы формирования наноструктурированных слоёв. Одним из вариантов этих технологий является так называемая «золь-гель» технология [1].

Сущность этой технологии заключается в следующем. В золь, содержащий раствор, включающий интересные наноструктурированные частицы, погружается подложка. В другом варианте, небольшое количество золя наносится на подложку; после этого подложку с локально нанесенным золем подвергают центрифугированию для обеспечения равномерного покрытия.

В обоих случаях сформированная золем плёнка подвергается процессу сушки и последующей высокотемпературной обработке. При этом золь-плёнка трансформируется в гель-плёнку. Для обеспечения значительных толщин процессы нанесения и высокотемпературной обработки повторяются.

Недостатки упомянутых процессов следующие:

1. Невозможность за один цикл сформировать слои значительной толщины.
2. Сформированные слои значительной толщины по существу являются многослойными, с наличием большого количества переходных областей от слоя к слою.
3. Невозможность обеспечить проникновение золя, а в дальнейшем и формирование геля в пористых материалах с трехмерной конфигурацией пор [1, стр. 54].
4. Процесс по существу является неуправляемым, так как основан только на эффектах смачивания межфазной границы. Изменение смачиваемости границы раздела «золь-подложка» обеспечивается только за счёт подбора состава золя.

Мы предлагаем следующие варианты управления процессами в золь-гель технологии.

1. Для обеспечения проникновения золя в пористые структуры предлагается осуществлять нагрев подложки и (или) золя при процедуре смачивания золем подложки. Далее, не извлекая подложку из золя, осуществить трансформацию золя в гель путём понижения температуры.

2. В процессе смачивания золем подложки осуществить ультразвуковое воздействие на систему «золь-подложка», со стороны подложки. Частота ультразвукового воздействия подбирается индивидуально для каждой конкретной пары «золь-подложка».

3. Осуществить ультразвуковое воздействие на систему путём погружения в раствор магнитостриктора, испускающего ультразвуковые волны со строго определённой частотой. Частота воздействия так же, как и в варианте 2, подбирается для конкретной пары «золь-подложка».

4. Использовать явление электрофореза путем воздействия постоянного по величине и знаку электрического поля на подложку с помощью погруженного в золь индифферентного электрода.

5. Воздействовать на систему золь/подложка переменным электрическим полем на вполне определённой частоте. Эта частота существенно изменяет смачиваемость конкретным золем конкретной подложки (резонансная частота воздействия).

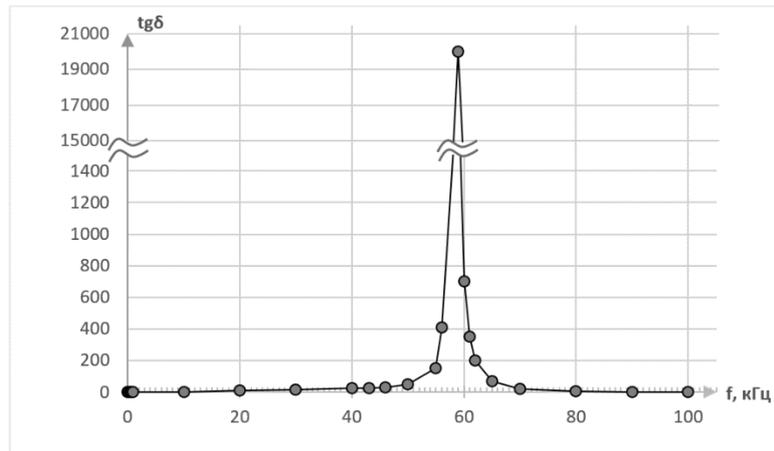


Рисунок 1 – Зависимость  $tg\delta$  от частоты воздействия электрического поля

Тангенс угла диэлектрических потерь в общем случае это отношение активной мощности к реактивной. Активная мощность, как правило, тратится на нагрев. Поэтому чем больше  $tg\delta$ , тем больший нагрев осуществляется в растворе. Из рисунка 1 следует, что при воздействии электрического поля с частотой в диапазонах 20–30 и 80–90 кГц значения  $tg\delta$  находятся в пределах 10–20 единиц. При частоте порядка 60 кГц, значения  $tg\delta$  достигают 20000 единиц, то есть значение  $tg\delta$  возрастает в 1000 раз.

Экспериментальные данные, связанные с результатами получения гель-слоев с использованием золь-гель технологии по варианту № 5 и сущностью рисунка 1 будут представлены в отдельной публикации.

#### Список литературы

1. Гапоненко, Н. В. Пленки, сформированные золь-гель методом на полупроводниках и в мезопористых матрицах / Н. В. Гапоненко. – Минск : Беларуская навука, 2003. – 136 с.

Article on the options of improvement of the classical sol-gel technology of formation of nanostructured layers, suggested several ways to improve the technology, such as heating substrate, electrophoresis, the flow of ultrasonic waves to surface of the substrate and the effectiveness of one of the methods is demonstrated.

Макарский Владимир Александрович, магистрант кафедры микро- и нанoeлектроники БГУИР, Минск, Беларусь, 55685568b@gmail.com.

Панцулая Шота Нукриевич, магистрант кафедры микро- и нанoeлектроники БГУИР, Минск, Беларусь, ShotaPantsulaya@gmail.com.

Научный руководитель – Петрович Владимир Алексеевич, кандидат физико-математических наук, доцент кафедры микро- и нанoeлектроники БГУИР, Минск, Беларусь, kafme@bsuir.by.

УДК 53.084.6

Е. В. МАРШАЛОК

### УСИЛИТЕЛЬ СИГНАЛА ФОТОДИОДА ДЛЯ ФОТОМЕТРИЧЕСКОГО ШАРА

Представлен усилитель сигналов фотодиода BPW34 для измерения световых потоков с использованием фотометрического шара. Устройство предназначено для применения в лабораторном практикуме по курсу "Оптика" для студентов физических специальностей вузов.

Фотометрический шар представляет собой сферу, выкрашенную изнутри матовой белой краской, обладающей высоким коэффициентом рассеяния света во всем видимом диапазоне. Внутри сферы устанавливается источник света, световой поток от которого подлежит измерению. Фотоприемник (фотодиод) размещается внутри сферы за непрозрачным экраном, закрывающим его от попадания прямого излучения.

Выходной сигнал фотодиода усиливается с помощью простейшей инвертирующей схемы на основе операционного усилителя (К140УД708). На вход усилителя подается сигнал с фотодиода BPW34 (Vishay Semiconductors). Используемый фотодиод имеет малый обратный темновой ток (не более 30 нА), низкий уровень собственных шумов (не более  $4 \times 10^{-14}$  Вт/Гц<sup>-2</sup>), а также высокую чувствительность при обратном

включении (обратный фототок достигает 50 мкА при мощности светового потока в 1 мВт/см<sup>2</sup> на длине волны в 950 нм)

Коэффициент усиления определяется соотношением номиналов резисторов R2 и R1, в нашем случае он выбран равным 1000. Для питания усилителя используется двухполярный источник с напряжением  $\pm 5\text{В}$ . Диоды, включенные последовательно с входами питания, защищают усилитель от неправильного подключения источника питания в процессе выполнения студентами лабораторных работ.

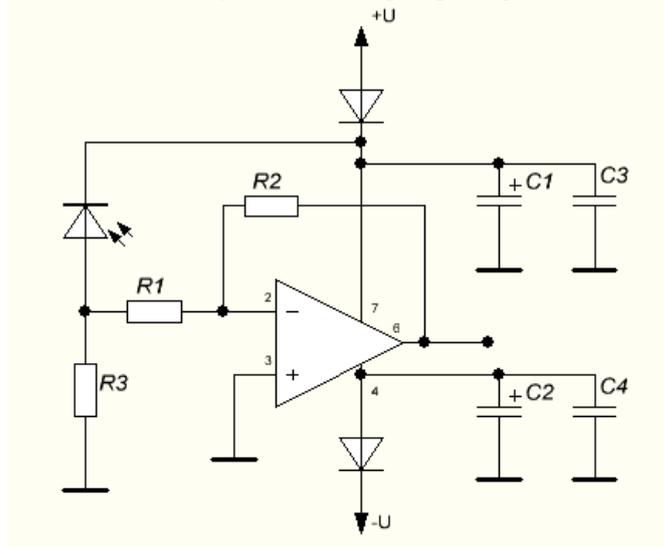


Рисунок 1 – Схема усилителя сигнала фотодиода BPW34

Усилитель будет применен в лабораторном практикуме по дисциплине "Оптика" для измерения реальных характеристик различных источников света.

#### Список литературы

1. Datasheet по микросхеме K140УД708 [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://belchip.by/sitedocs/00013321.pdf>. – Дата доступа: 10.02.2018

In this project you can see the signal amplifier of the photodiode BPW34 for measuring light fluxes using a photometric ball. This device is intended for use in a laboratory practice on the course "Optics" for students of physical specialties of universities.

*Маршалок Евгений Витальевич*, студент 4 курса физико-технического факультета ГрГУ им. Я. Купалы, Гродно, Беларусь, [evgenii\\_marshalok@mail.ru](mailto:evgenii_marshalok@mail.ru).

Научный руководитель – *Герман Андрей Евгеньевич*, кандидат физико-математических наук, доцент кафедры общей физики ГрГУ им. Я. Купалы, Гродно, Беларусь, [german@grsu.by](mailto:german@grsu.by).

УДК 53.087.4

А. В. НИКИТО, А. Ю. КЛИНЦЕВИЧ

### АВТОМАТИЗИРОВАННАЯ СИСТЕМА VISCOSUS

Представлено техническое решение, направленное на повышение точности результатов измерения и исключение субъективной погрешности, при проведении поверки вискозиметров условной вязкости.

Испытания по измерению вязкости являются базовыми в процессе контроля качественных показателей машинных масел, смазочных материалов, а также лакокрасочной продукции. Измерение вязкости проводится с помощью специальных средств измерений – вискозиметров.

Наиболее распространенными вискозиметрами, являются приборы, предназначенные для определения условной вязкости (времени истечения) лакокрасочных материалов и относящихся к ним продуктов - ньютоновских или приближающихся к ним жидкостей. Принцип действия данных вискозиметров основан на определении времени непрерывного истечения определенного объема испытуемой жидкости через отверстие сопла.

В соответствии с МИ 1740-87 для определения относительной погрешности измерения времени истечения необходимо:

– закрыть отверстие сопла пальцем, градуировочную жидкость налить в вискозиметр с избытком, чтобы образовался выпуклый мениск над верхним краем вискозиметра, наполнять вискозиметр медленно, чтобы предотвратить образование пузырьков воздуха. Избыток жидкости и образовавшиеся пузырьки воздуха удалить при помощи стеклянной пластинки, сдвигаемой по верхнему краю воронки в горизонтальном направлении таким образом, чтобы не образовалась прослойка;

– открыть отверстие сопла, с появлением контролируемой жидкости из сопла, включить секундомер. В момент первого прерывания струи жидкости секундомер остановить и отсчитать время истечения.

Большая доля ручного труда при проведении измерений повышает вероятность возникновения субъективной погрешности измерений. Субъективная погрешность связана с такими индивидуальными особенностями поверителя, как внимательность, сосредоточенность и быстрота реакции.

Процесс определения условной вязкости краски представлен на рисунке 1.



**Рисунок 1 – Процесс определения условной вязкости краски**

Принцип работы системы Viscosus заключается в регистрации времени истечения определенного объема испытуемой жидкости через отверстие сопла. Перед заполнением вискозиметра градуировочной жидкостью, его устанавливают на посадочное место системы Viscosus. После нажатия кнопки электромеханический клапан закрывает отверстие сопла. Заполнив вискозиметр жидкостью, и удостоверившись в отсутствии протечки через сопло вискозиметра необходимо нажать кнопку на лицевой панели системы для начала испытания, после чего откроется электромеханический клапан. Регистрация струи жидкости осуществляется с помощью оптоэлектронного блока детектирования жидкости. Струя, попадая в область работы оптической системы определяется устройством, запускает электронный секундомер для измерения времени вытекания жидкости. Оптоэлектронный блок регистрирует момент первого прерывания струи жидкости и останавливает секундомер.

Преимущества применения автоматизированной системы Viscosus для проведения проверки вискозиметров заключаются, прежде всего, в том, что при таком способе измерений полностью исключается вероятность возникновения ошибки поверителя и повышается точность измерения.

Основным элементом системы является микроконтроллер (далее – МК) Atmega328. Данный МК принадлежит к AVR-семейству восьми битных МК фирмы Atmel. МК обладает высокой скоростью и производительностью, имеет 32кБайта памяти программ.

Оптоэлектронный блок детектирования жидкости представляет собой оптоэлектронную схему, основой которой является специализированная микросхема ADNS2051. Данная микросхема включает в себя ПЗС-матрицу размером 16×16 точек и является завершенным 2-D датчиком движения. Геометрические размеры матрицы 500×500 мкм, каждая точка данной матрицы хранит значения интенсивности света, попавшего на нее. В определенный момент времени микросхема захватывает изображение с участка 500×500 мкм и передает в МК массив данных в виде 256 байт со значениями интенсивности света.

Оптическая схема оптоэлектронного блока детектирования жидкости представлена на рисунка 2.

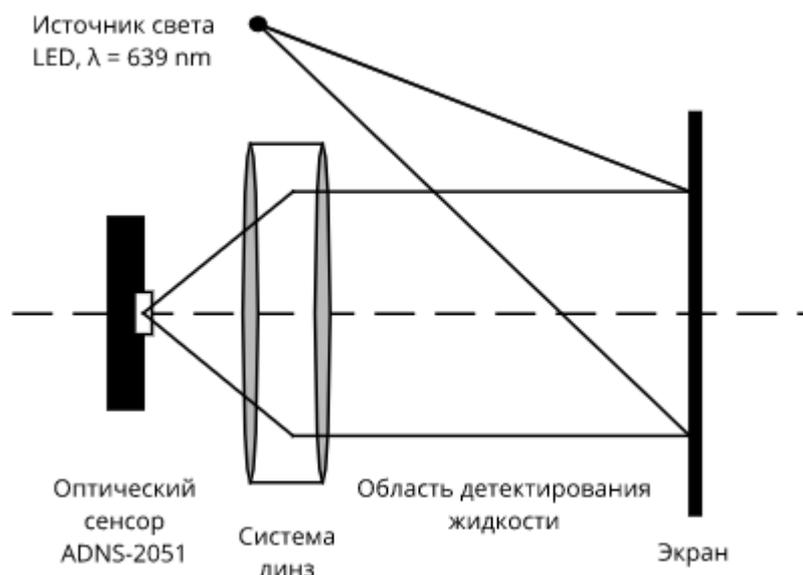


Рисунок 2 – Оптическая схема опико-электронного блока детектирования жидкости

Источник света (красный светодиод  $\lambda = 639 \text{ nm}$ ), расположенный вне зоны видимости матрицы, подсвечивает белый экран. При наличии струи жидкости между источником света и экраном на последнем возникает тень. Оптическая система из линз проецирует изображение (размер изображения  $1 \times 1 \text{ cm}$ ) с поверхности экрана на поверхность ПЗС-матрицы. Сравнивая изображение с тенью и изображение без тени, можно сделать вывод о наличии жидкости в зоне детектирования.

Автоматизированная система Viscosus, является законченным устройством для автоматизации процесса поверки вискозиметров. Внешний вид системы представлен на рисунке 3. Устройство позволяет полностью исключить вероятность возникновения субъективной погрешности и, как следствие, повысить точность измерений. Использование автоматизированной системы позволяет сократить время подготовки к поверке, а так же свести к минимуму неизбежный контакт человека с нефтепродуктами.



Рисунок 3 – Внешний вид автоматизированной системы Viscosus

Так же данное устройство может найти применение в лабораториях контроля качественных показателей машинных масел, смазочных материалов, а также лакокрасочной продукции. В этих лабораториях при помощи поверенных СИ (вискозиметров) определяют время истечения исследуемой жидкости, в результате чего делается вывод о вязкости данной жидкости.

#### Список литературы

1. МИ 1740-87. Методические указания. Государственная система обеспечения единства измерений. Вискозиметр для определения условной вязкости лакокрасочных материалов ВЗ-246. Методика поверки / АО «Аналитприбор» – Санкт-Петербург: НПО ВНИИМ им. Д.И. Менделеева, 1987

2. Atmega328 [Электронный ресурс] // [http://microchip.com]. [17 января 2017 в 12:59]. URL: [http://ww1.microchip.com/downloads/en/DeviceDoc/Atmel-42735-8-bit-AVR-Microcontroller-ATmega328-328P\\_Datasheet.pdf](http://ww1.microchip.com/downloads/en/DeviceDoc/Atmel-42735-8-bit-AVR-Microcontroller-ATmega328-328P_Datasheet.pdf)

3. Agilent ADNS-2051 [Электронный ресурс] // [http://bdml.stanford.edu]. [06 мая 2017 в 15:31]. URL: <http://bdml.stanford.edu/twiki/pub/Rise/OpticalDisplacementSensor/ADNS2051.pdf>

This article describes technical solution aimed at increasing the accuracy of measurement results and eliminating subjective error when performing a verification of viscosimeters of conditional viscosity

*Никито Алексей Вячеславович*, магистр физико-математических наук, ГрГУ им. Я. Купалы, Гродно, Беларусь, [nikitoav@mail.ru](mailto:nikitoav@mail.ru).

*Клинцевич Артур Юрьевич*, магистр физико-математических наук, ГрГУ им. Я. Купалы, Гродно, Беларусь, [klintsevich@grodno.net](mailto:klintsevich@grodno.net).

Научный руководитель – *Герман Андрей Евгеньевич*, кандидат физико-математических наук, доцент кафедры общей физики ГрГУ им. Я. Купалы, Гродно, Беларусь, [german@grsu.by](mailto:german@grsu.by).

УДК 544.2

С. А. НИКИТЮК, А. И. ЗАНЬКО, Е. В. ЯЦЕВИЧ

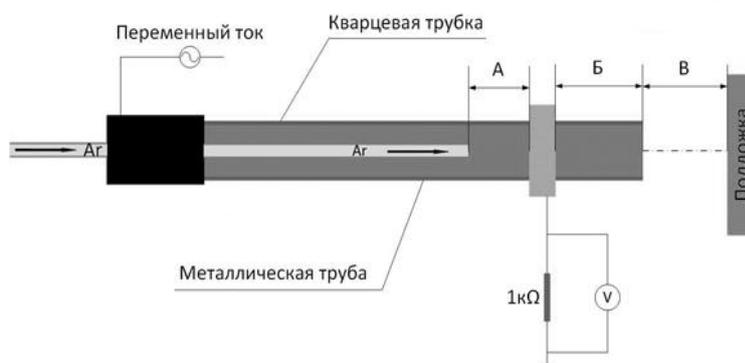
### КОАКСИАЛЬНАЯ СИСТЕМА ГЕНЕРАЦИИ ПЛАЗМЫ АТМОСФЕРНОГО РАЗРЯДА ДЛЯ НАНОРАЗМЕРНОЙ ОЧИСТКИ И МОДИФИКАЦИИ ПОВЕРХНОСТИ ТВЁРДЫХ ТЕЛ

Проведен аналитический обзор технологий плазменной обработки поверхностей твёрдых тел. Определены оптимальные параметры разрядной системы и системы питания. Отработана методика обработки поверхности стекла и нержавеющей стали.

В настоящее время в области высоких технологий широко используется обработка с помощью плазмы и потоками заряженных частиц. Такие технологии позволяют получать, как атомарно чистую поверхность, так и формировать пленочные микро- и наноструктурированные функциональные слои и покрытия с уникальным комплексом физических характеристик для нужд машиностроения, оптики, микроэлектроники и ряда других отраслей науки и техники. Однако реализация этих технологий требует создания и поддержания высокого вакуума, что значительно усложняет и удорожает их, тем самым ограничивая потенциальное их применение, как по цене, так и по возможности нахождения объектов обработки при пониженном давлении. В тоже время, благодаря интенсивному развитию систем питания и газоразрядных устройств с начала века стали появляться и активно совершенствоваться системы для генерации плазмы атмосферного разряда.

Технология обработки в плазме атмосферного разряда представляет ряд таких достоинств, как отсутствие громоздких и энергоёмких систем создания и поддержания вакуума, возможность обработки различных материалов, в том числе низкотемпературных полимеров и биологических объектов, оперативность и универсальность применения, а также невысокой ценой разрядных систем [1-4].

В нашей работе для исследований использовалась разрядная система коаксиального типа (рисунок 1) В качестве плазмообразующего газа использовался аргон.



**Рисунок 1 – Схема экспериментальной разрядной системы коаксиального типа с диффузным диэлектрическим барьерным разрядом**

Для установления особенностей формирования и режимов горения разряда при атмосферном давлении проведены исследования зависимости длины плазменной струи от расхода рабочего газа при различных напряжениях на первичной обмотке высоковольтного преобразователя. Результаты отражены на рисунке 2.

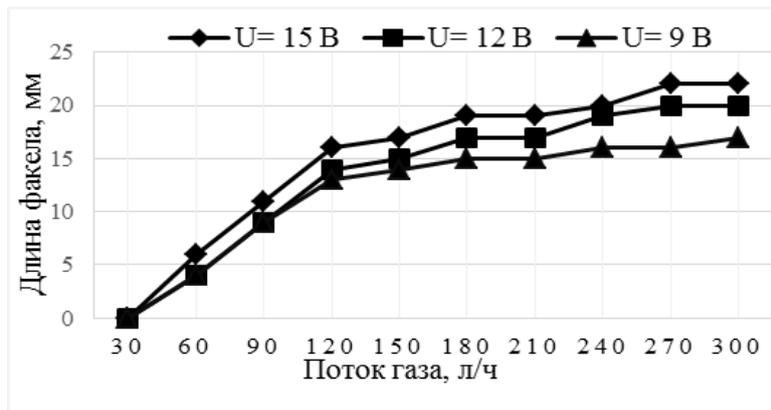


Рисунок 2 – Зависимость длины факела от расхода рабочего газа и напряжения

По длине факела косвенно можно судить о свойствах разряда, а также она является параметром для оптимизации расхода газа и затрат мощностей при технологической обработке.

На графике можно выделить две области: при увеличении расхода газа с 30 до 120 л/ч зависимость имеет линейный характер. Свыше 130 л/ч наблюдается насыщение. Такое поведение объясняется следующим образом: с одной стороны - увеличение расхода газа увеличивает расстояние, которое проходит возбужденная частица за время своей жизни. С другой стороны, увеличение расхода приводит к увеличению «оттока» заряженных и возбужденных частиц из зоны разряда, что уменьшает интенсивность плазмообразования.

Увеличение напряжения приводит лишь к незначительному увеличению длины факела, но при этом интенсивность горения увеличивается. Это говорит о том, что геометрические параметры плазменного факела определяются особенностями газодинамики, а увеличение напряжения увеличивает степень ионизации рабочего газа.

Исходя из данных по измерению длины плазменного факела был определен оптимальный режим работы разрядной системы и проведены измерения изменения краевого угла смачивания стекла и нержавеющей стали при разном времени обработки (рисунок 3).

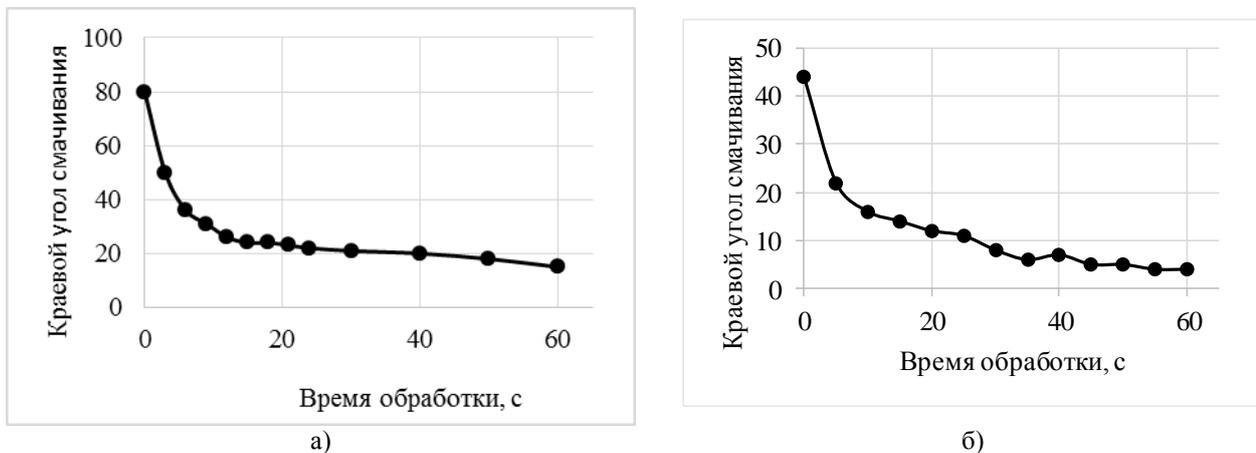


Рисунок 3 – Зависимость контактного угла смачивания нержавеющей стали (а) и стекла (б) от времени обработки

Определение контактного угла смачивания произведены посредством измерения угла на фотографии лежащей на поверхности капли воды, объемом 0,02 мл.

Видно, что основной эффект от обработки достигается в первые 10 секунд после начала обработки, дальнейшая обработка лишь незначительно увеличивает смачиваемость. В первые секунды обработки происходит эффективное удаление загрязнителей, а последующее медленное изменение смачиваемости может являться следствием активации поверхности твердого тела.

Исходя из полученных результатов, можно говорить о пригодности данного метода очистки поверхности как в лабораторных условиях, так и в опытном производстве. Данный вид обработки является альтернативой жидкостным химическим методам очистки из-за низкой стоимости и экологичности.

#### Список литературы

1. Plasma Apparatuses for Biomedical Applications / Y. J. Kim [and etc.] // IEEE Transactions on plasma science. – 2015. – Vol. 4. –P. 944–950.

2. David, B. Graves Low temperature plasma biomedicine: A tutorial review / B. David Graves.// Physics of Plasmas. – 2014. –Vol. 21. – P. 24–26.
3. Bruggeman, P. Atmospheric pressure discharge filaments and microplasmas: Physics, chemistry and diagnostics / P. Bruggeman, R. Brandenburg // Journal of Physics D: Applied Physics. – 2013. – Vol. 46. 464001. – P. 23–27.
4. Interaction of Atmospheric Pressure Plasma Jets with Liquids /Th. von Woedtke [and etc.] // Physics Reports. – 2013. – Vol. 530. – P. 291–320.

Analytical review of plasma surface treatment technologies for solids surfaces has been carried out. The optimal parameters of the discharge system and the power supply system has been determined. The technique of surface treatment of glass and stainless steel has been worked out.

*Никитюк Сергей Анатольевич*, магистрант факультета радиотехники и электроники кафедры микро- и нанoeлектроники БГУИР, Минск, Беларусь, nikitjuk.work@gmail.com

*Занько Андрей Иванович*, магистрант факультета радиотехники и электроники кафедры микро- и нанoeлектроники БГУИР, Минск, Беларусь, zanko.andrei@inbox.ru.

*Яцевич Екатерина Вадимовна*, студентка факультета радиотехники и электроники кафедры микро- и нанoeлектроники БГУИР, Минск, Беларусь, K\_yatsevich@mail.ru

Научный руководитель – *Котов Дмитрий Анатольевич*, кандидат технических наук, доцент кафедры микро- и нанoeлектроники БГУИР, Минск, Беларусь, kotov@bsuir.by.

УДК 534.864

Д. И. ПЕТРУШКЕВИЧ

### АКТИВНАЯ АКУСТИЧЕСКАЯ СИСТЕМА С ИНТЕГРАЛЬНЫМ УСИЛИТЕЛЕМ

Представлена 2-х канальная активная акустическая система с использованием усилителя звуковых частот на базе интегральных микросхем TDA-7294. Акустическая система обеспечивает высокую верность звуковоспроизведения и предназначена для мобильного или стационарного использования.

Акустическая система представляет собой специальным образом спроектированный корпус, 2-х канальный усилитель на базе интегральных микросхем TDA-7294 в типовой схеме включения [1], а также 2 широкополосные динамические головки коаксиального типа. Микросхема TDA7294 представляет собой интегральную схему в корпусе MULTIWATT15. Она предназначена для использования в качестве усилителя звука класса Hi-Fi. За счёт широкого диапазона питающего напряжения и высокого выходного тока, микросхема способна обеспечить высокую выходную мощность при сопротивлении динамических головок 4 Ом и 8 Ом. TDA7294 имеет низкий уровень шума, низкий уровень искажений, хорошее подавление пульсаций и может работать от широкого диапазона питающего напряжения. Для питания усилителя используется изготовленный двухполярный источник с напряжением  $\pm 24\text{В}$  и током нагрузки до 5А.

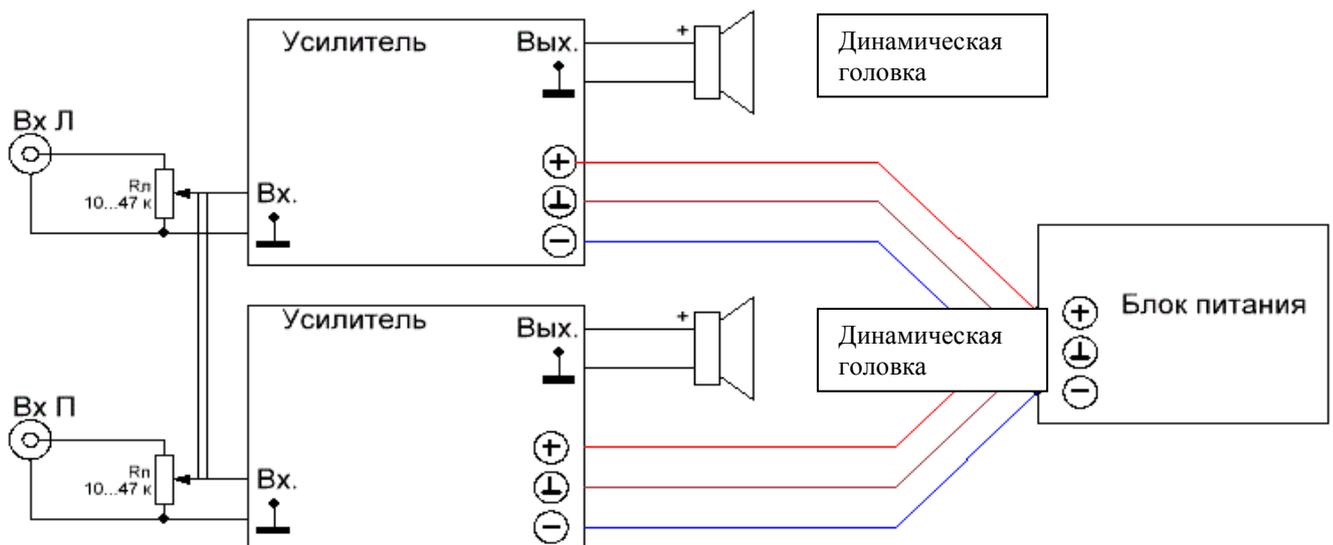
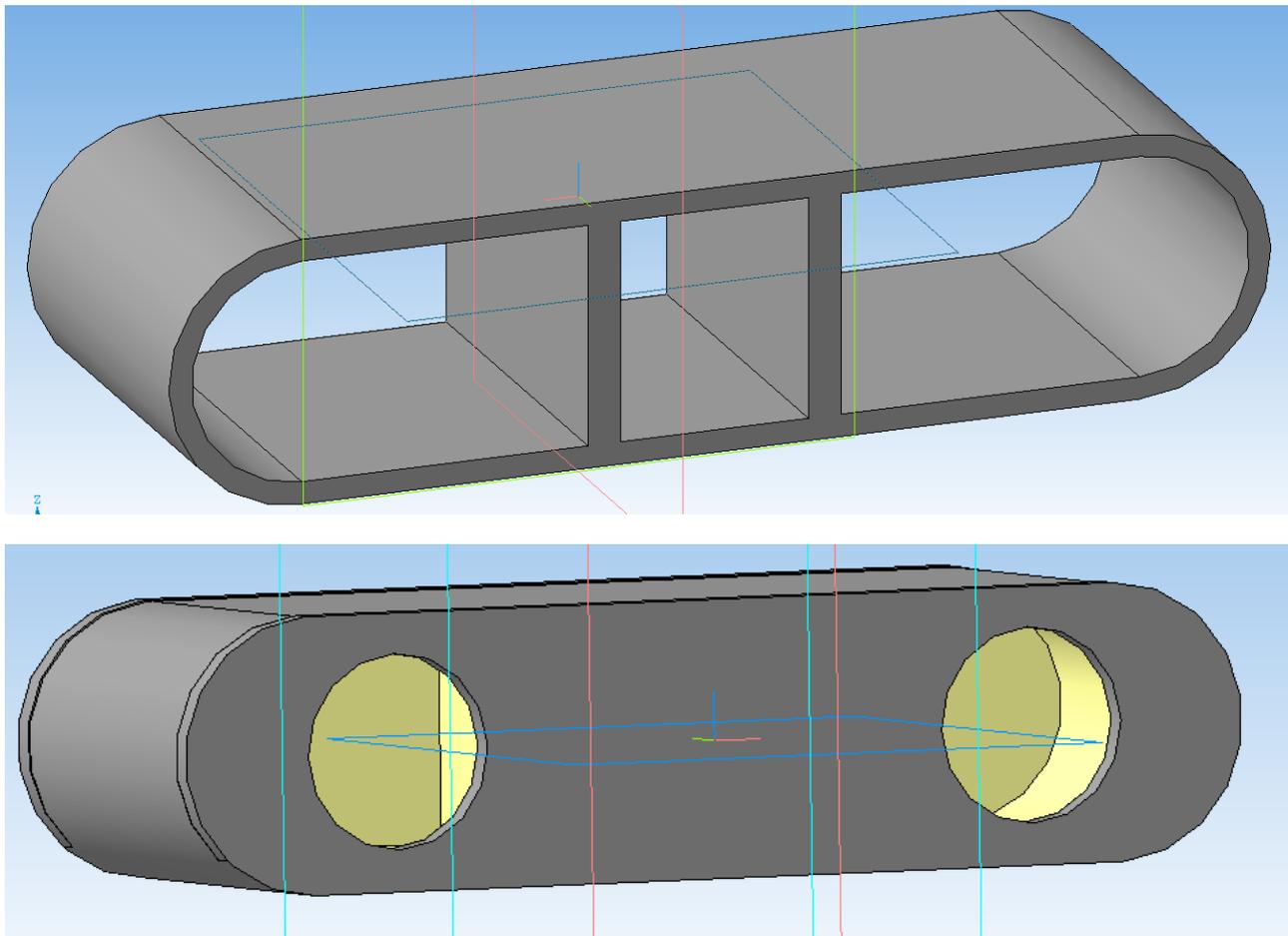


Рисунок 1 – Электрическая блок-схема акустической системы

Корпус акустической системы сложной формы (рисунок 2) выполнен из комбинации клееной фанеры (боковые стенки) и массива ясеня (передняя и задняя стенки, а так же верхняя и нижние крышки). Внутри

корпуса выделен герметичный отсек размером 30x20x40 см<sup>3</sup> для установки блока усилителя с источником питания.

Изготовленная акустическая система показала высокое качество звучания и будет применена автором при организации развлекательных мероприятий



Длина – 100 см, ширина – 34 см, высота – 24 см, диаметр отверстия – 16,5 см.

**Рисунок 2 – Корпус акустической системы**

#### Список литературы

1. Datasheet по микросхеме TDA-7294 [Электронный ресурс]. – Режим доступа [www.st.com/content/ccc/resource/technical/document/datasheet/ab/d6/fa/99/84/36/49/ee/CD00000017.pdf/files/CD00000017.pdf/jcr:content/translations/en.CD00000017.pdf](http://www.st.com/content/ccc/resource/technical/document/datasheet/ab/d6/fa/99/84/36/49/ee/CD00000017.pdf/files/CD00000017.pdf/jcr:content/translations/en.CD00000017.pdf)– Дата доступа: 10.02.2018

Presented is a 2-channel active speaker system using an audio frequency amplifier based on TDA-7294 integrated circuits. The acoustic system ensures high fidelity of sound reproduction and is intended for mobile or stationary use.

*Петрушкевич Дмитрий Иванович*, студент 4 курса физико-технического факультета ГрГУ им. Я. Купалы, Гродно, Беларусь, [dima172014@gmail.com](mailto:dima172014@gmail.com).

Научный руководитель – *Герман Андрей Евгеньевич*, кандидат физико-математических наук, доцент кафедры общей физики ГрГУ им. Я. Купалы, Гродно, Беларусь, [german@grsu.by](mailto:german@grsu.by).

УДК 621.311

А. Т. РОМАНЧУК

### АВТОНОМНОЕ ЭЛЕКТРОСНАБЖЕНИЕ ЗАГОРОДНОГО ДОМА С АККУМУЛИРОВАНИЕМ ЭНЕРГИИ С ПОМОЩЬЮ РЕАКЦИИ ЭЛЕКТРОЛИЗА

Представлен способ электроснабжения загородного дома с помощью ветрогенератора. Представлен принцип использования реакции электролиза и описаны возможности использования полученного водорода.

В статье «Преимущества использования ветроустановок» конференции «Физика конденсированного состояния – XXV» была подробно описана ветрогенераторная установка для электроснабжения загородного дома, так как ветрогенераторные установки надежны, экологически безопасны и практически не производят шума. Кроме того, в большинстве случаев ветрогенератор позволяет получать энергию именно тогда, когда в ней есть повышенная потребность. Ветрогенератор ещё выгоден и тем, что его можно сочетать с другими источниками энергии. [1]

Недостатком является необходимость аккумулирования энергии тогда, когда в ней нет необходимости. Аккумуляторные батареи имеют высокую стоимость, короткий срок службы и непригодны к утилизации. Но отключение ветрогенератора в период избыточной работы тоже не рационально и приводит к недостатку энергии для суточной потребности.

Решить проблему накопления избыточной электроэнергии в ночное время позволит использование реакции электролиза.

Электролиз – это окислительно-восстановительный процесс, протекает на электродах при прохождении постоянного электрического тока через растворы или расплавы электролитов. [2] На отрицательно заряженном электроде (катоде) происходит электрохимическое восстановление частиц (атомов, молекул, катионов), а на положительно заряженном электроде (аноде) идет электрохимическое окисление частиц (атомов, молекул, анионов).

Электролиз воды проводится всегда в присутствии инертного электролита:

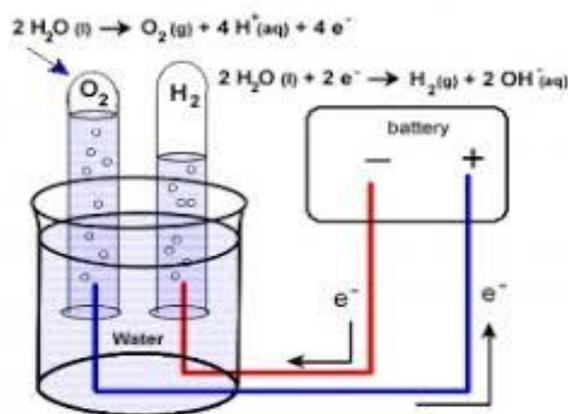


Рисунок 1 – Схема электролиза воды

При этой реакции получается гремучий газ, смесь водорода и кислорода, обычно в соотношении 2:1 по объему. Взрывается при контакте с огнем или электрической искрой. Используется в качестве газового топлива и как топливо топливного элемента. [3] Что позволяет аккумулировать энергию в газовом виде.

Топливный элемент состоит из двух электродов, разделенных электролитом, и систем подвода топлива на один электрод и окислителя на другой, а также системы для удаления продуктов реакции. В большинстве случаев для ускорения химической реакции используются катализаторы. Внешней электрической цепью топливный элемент соединен с нагрузкой, которая потребляет электроэнергию. [4]

Следовательно, из водорода можно получить обратно электроэнергию.

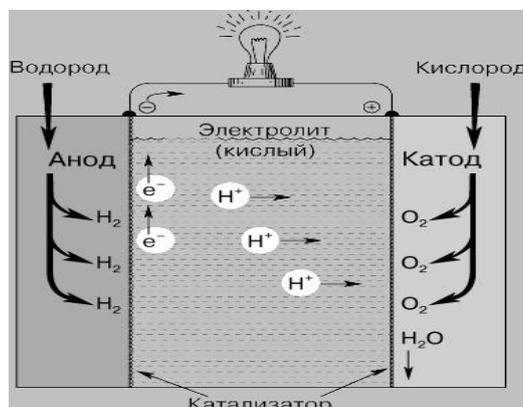


Рисунок 2 – Схема топливного элемента

Исходя из вышесказанного, можно сделать следующие выводы:

1. Аккумулирование электроэнергии, производя водород, возможно и экологически безопасно.
2. Аккумулированный газ можно использовать как горючее топливо или преобразовать обратно в электроэнергию.

*Список литературы*

1. Преимущества ветрогенераторов [Электронный ресурс]. – Режим доступа: [http://www.ecoenergy-servise.com/vg\\_pr.html](http://www.ecoenergy-servise.com/vg_pr.html). – Дата доступа: 15.02.2018.
2. Реакция электролиза [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://www.alhimik.ru/teleclass/konspekt/konspб-04.shtml>. – Дата доступа: 15.02.2018.
3. Гремучий газ [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://dic.academic.ru/dic.nsf/enc1p/14718>. – Дата доступа: 15.02.2018.
4. Водородно-кислородный топливный элемент [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://greenevolution.ru/enc/wiki/toplivnyj-element/>. – Дата доступа: 15.02.2018.

In this article, the possibility of using renewable energy sources for electricity supply of a tiny house with the use of electrolysis for accumulating electricity is considered.

*Романчук Александр Тадеушевич*, студент 4 курса, физико-технического факультета ГрГУ им. Я. Купалы, Гродно, Беларусь, [alex01011997@mail.ru](mailto:alex01011997@mail.ru).

Научный руководитель – *Кропачева Людмила Владимировна*, кандидат физико-математических наук, доцент кафедры электротехники и электроники ГрГУ им. Я. Купалы, Гродно, Беларусь, [k\\_lv@mail.ru](mailto:k_lv@mail.ru).

УДК 621.311

П. А. САМОСЮК

### **КАЧЕСТВЕННЫЕ ПОКАЗАТЕЛИ УЛУЧШЕНИЯ ЭНЕРГОЭФФЕКТИВНОСТИ ЛИФТОВОГО ОБОРУДОВАНИЯ ЖИЛОГО ЗДАНИЯ**

Рассмотрены основные направления по повышению энергоэффективности лифтового оборудования жилого здания. Изложена целесообразность повышения энергоэффективности. Рассмотрены преимущества энергоэффективного лифтового оборудования. Актуальность работы обусловлена возможностью круглогодичной экономии энергоресурсов.

В связи с постоянным ростом цен на энергоносители и растущей потребностью в электроэнергии, вопросы экономии энергоресурсов становятся все более острыми. В настоящее время все большей популярностью пользуется внедрение энергоэффективных технологий во все сферы жизни с целью экономить энергоресурсы без ущерба для нормальной жизни человека. Внедрение энергосберегающих технологий очень часто встречается во всех сферах жизни человека.

На энергосбережение в лифтовых установках еще не обращали столь пристального внимания. Лифтовая отрасль представляет собой мощную составляющую мировой техники и экономики. Она состоит из десятков крупных корпораций и организаций по проектированию, производству и эксплуатации лифтового оборудования, которые обеспечивают миллионы рабочих мест по всему миру. По своей значимости, лифтовое хозяйство отражает одну из важнейших черт современной цивилизации. Главной задачей всех лифтовых установок является обеспечение перевозок, как пассажиров, так и груза в вертикальной плоскости зданий и сооружений различного типа назначения. Лифты не только облегчают повседневное физическое передвижение людей, но и зачастую бывают единственным средством такого передвижения. В последние годы наблюдается очень активный рост строительства многоэтажных сооружений. Электроэнергия, потребляемая лифтовым оборудованием, занимает в общем показателе по зданию значительную долю. И чем выше этажность здания, тем выше расходуется электроэнергия на работу лифта. Лифты в жилых сооружениях используются с большей интенсивностью, и их электропотребление может достигать 5 % от общего показателя по всему зданию. Лифтовое оборудование включает в себя множество устройств, которые обеспечивают его безопасную и надежную эксплуатацию. Главный электропривод и электропривод дверей кабины, освещение, станция управления, система диспетчеризации, органы управления, вентиляция, устройства и цепи безопасности – это еще не полный список потребителей электроэнергии лифта. В лифтовом оборудовании можно выделить два характерных режима энергопотребления: режим движения (перевозки) и режим ожидания (простоя). Для каждого из режимов работы характерно различное влияние на суммарное энергопотребление перечисленных потребителей. Во время перевозке пассажиров задействованы все системы лифта. Режим движения лифтового оборудования характеризуется большей мощностью энергопотребления в сравнении с режимом простоя, однако в режиме простоя лифт работает больше времени. Энергопотребление лифтов в режиме простоя составляет по разным данным от 20 % до 85 % от общего энергопотребления Грамотная организация работы подъемников основывается на исследовании нужд жильцов.

При наличии нескольких лифтов в определенные периоды времени часть из них может отключаться, если нет сильной загрузки, и работа всех подъемников не требуется. Это значительно сократит расход средств на дорогую электроэнергию. Классической является схема, которая предполагает следующее: определяют главный посадочный этаж (чаще всего это 1-й этаж здания) и все лифты делят на группы, обслуживающие только определенные этажи. Например, одна группа обслуживает только четные этажи, то есть 2-ой, 4-ый и так далее; вторая группа обслуживает только нечетные этажи, то есть 3-й, 5-й и так далее. Также имеются схемы, когда часть лифтов обслуживает нижнюю группу этажей, а другая часть лифтов обслуживает верхнюю группу этажей. Это позволяет реализовать преимущество высокой скорости движения кабин, и чем выше обслуживаемая зона, тем с большей скоростью кабины могут преодолевать так называемую «слепую» зону здания. Однако имеются, и недостатки таких схем организации. Они начинают проявляться в зданиях, который имеют свыше 50 этажей. Главные недостатки – это увеличение кол-ва лифтового оборудования, из-за чего площадь, потребная для размещения лифтовых шахт, превышает площадь этажа, а также трудность перемещения пассажиров с четных этажей на нечетные, и наоборот. Таким образом, показатели энергоэффективности становятся основными при оценке конкурентоспособности любого лифтового оборудования. Не менее важна энергоэффективность подъемного устройства. Более 50 % всей электроэнергии, которая используется при эксплуатации лифтов, потребляет лебедка лифта (электропривод), поэтому основное внимание при проектировании современных конструкций лифтов отводится улучшению энергетических показателей именно лебедок. Традиционные лебедки пассажирских лифтов имеют в своем составе одно и двухскоростные асинхронные электродвигатели (АД) и червячные редукторы. Возможность технического развития традиционных лифтовых лебедок ограничены, однако массовость их применения, в настоящее время, определяет актуальность улучшения их энергетических и динамических показателей. Применяемая компоновка и технические решения традиционных лифтовых лебедок с червячными редукторами и двухскоростными АД, обеспечивает комфортность перемещения пассажиров и работу пассажирских лифтов даже при довольно ограниченных возможностях релейно контактных станций управления. Но, общеизвестны и недостатки таких лебедок, вытекающие из особенности их конструкции. Прежде всего – это низкая энергетическая эффективность. Червячные редукторы имеют очень низкий (60–75 %) коэффициент полезного действия. Небольшой, порядка 80 % на рабочей скорости, КПД, имеет и двухскоростной асинхронный двигатель. На пониженной скорости АД его КПД едва доходит до 30–40 %. Лифты с традиционной редукторной лебедкой имеют ограничения и по максимальной скорости. Известно, что уже на скорости 1,6 м/с возникают проблемы с обеспечением условий перемещения.

В современном лифтостроении существуют две тенденции усовершенствования приводов машин:

1. Обеспечение плавного разгона и торможения рабочего органа (кабины), что позволяет улучшить динамические характеристики и значительно уменьшить динамическую нагрузку в период разгона и торможения, таким образом, увеличить эквивалентный КПД;

2. Переход от привода, в котором применяется механический редуктор, к безредукторному приводу, который позволяет увеличить коэффициент полезного действия, за счет отказа от элемента с низким КПД.

Ведущие компании-производители лифтового оборудования наладили выпуск энергосберегающих лифтов. Энергосберегающие лифты широко применяются для замены морально устаревших и физически изношенных лифтов.

Энергосберегающие лифты могут быть оборудованы такими элементами, как:

1. Энергоэффективный двигатель пониженной мощности (стандартный электродвигатель рассчитан на вес более 700 кг, в большинстве случаев достаточно и 300 кг, избыток мощности двигателя увеличивает его суммарное потребление);

2. Встроенное генерирующее устройство, которое могло бы генерировать энергию во время спуска (встроенный в двигатель генератор позволяет экономить до 25 % всей энергии, которая ранее терялась в виде тепловой энергии, а тормозной системе лифтового механизма);

3. Безредукторные лебедки (безредукторная лебедка позволит снизить потребление энергии до 45 %, при увеличении полезного действия в 1,5 раза);

4. Инновационный привод с частотным регулированием;

5. Энергоэффективный механизм движения в лифтовой шахте;

6. Светодиодное освещение с датчиком движения;

7. Датчик веса и автоматическая блокировка закрытия дверей.

Преимущества энергосберегающих лифтов:

1. Плавность разгона и торможения кабины лифта делают поездку более комфортной для пассажиров, а также снижают шум и вибрации в жилом доме;
2. Снижена масса лифтовой лебедки за счет отсутствия маховика;
3. Ресурс лебедки увеличен за счет плавно протекающего переходного процесса, снижающего нагрузку на червячную пару и уменьшающего износ колодок тормоза;
4. Ограничение пусковых токов двигателя в 2–3 раза экономит электрическую энергию при пусках, а также снижает температуру нагрева двигателя, что позволяет повысить его ресурс;
5. Используется односкоростной двигатель, имеющий значительно меньшие массогабаритные размеры и низкую стоимость по сравнению с традиционно применяемым двухскоростным двигателем.

The main directions for increasing the energy efficiency of elevator equipment in a residential building are considered. The expediency of energy efficiency improvement is stated. The advantages of energy-efficient elevator equipment are considered. The urgency of work is due to the possibility of year-round saving of energy resources.

*Самосюк Павел Александрович*, магистрант физико-технического факультета ГрГУ им. Я. Купалы, Гродно, Беларусь, stranger129088@mail.ru.

Научный руководитель – *Гайда Леонид Станиславович*, доктор физико-математических наук, профессор кафедры электротехники и электроники ГрГУ им. Я. Купалы, Гродно, Беларусь, gls@grsu.by.

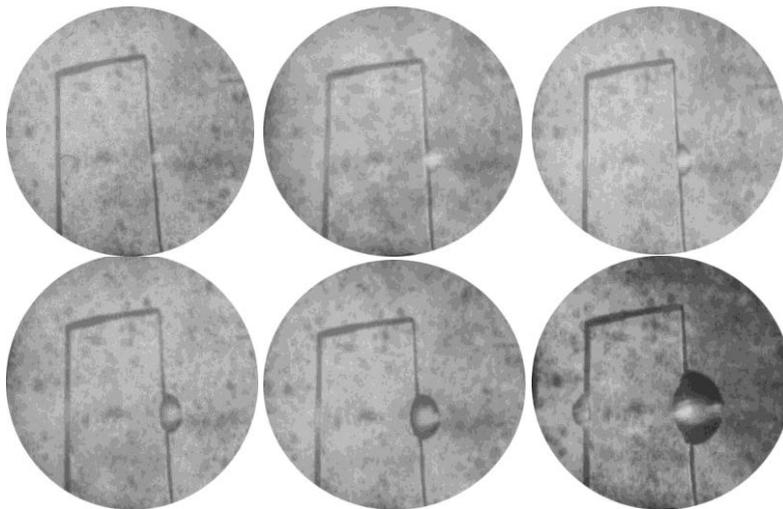
УДК 535.391: 621.376

Е. О. СЕМЕНЧУК

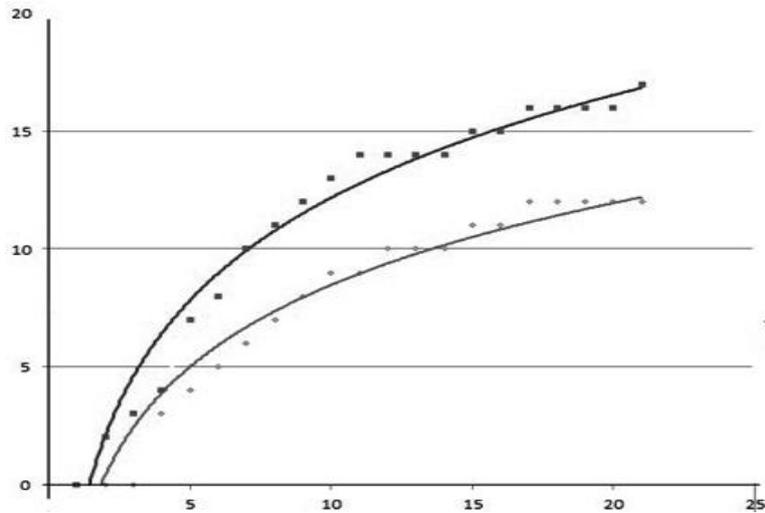
### **ВОЗДЕЙСТВИЕ ЛАЗЕРНОГО ИЗЛУЧЕНИЯ НА ОБРАЗЕЦ ПРИ РАЗЛИЧНОМ ДАВЛЕНИИ ОКРУЖАЮЩЕГО МИШЕНЬ ВОЗДУХА**

Рассматривается воздействие лазерного излучения (ЛИ) на прозрачный диэлектрик и образование под действием ЛИ кратера на поверхности данного диэлектрика и каверн в его объеме. Был проведен эксперимент, при котором образец помещался в камеру с пониженным давлением. Показано, что развитие каверн, расположенных ближе к облучаемой поверхности, препятствует развитию более удаленных каверн (экранировка).

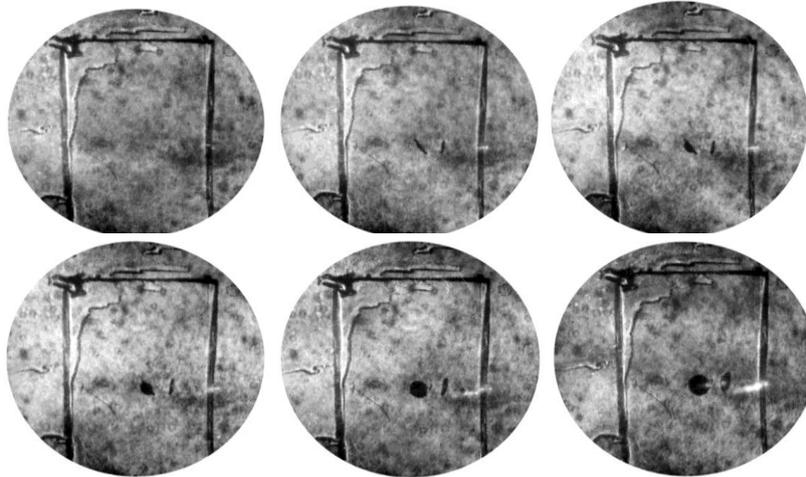
Ниже представлены результаты исследования воздействия лазерного излучения со средней плотностью потока  $25 \text{ МВт/ см}^2$  на полиметилметакрилат (ПММА) как при атмосферном (рис. 1), так и при пониженном давлении ( $10^{-2}$  мм рт. ст.) воздуха (рис. 3), а так же временные зависимости образовавшихся разрушений (рис. 2, 4).



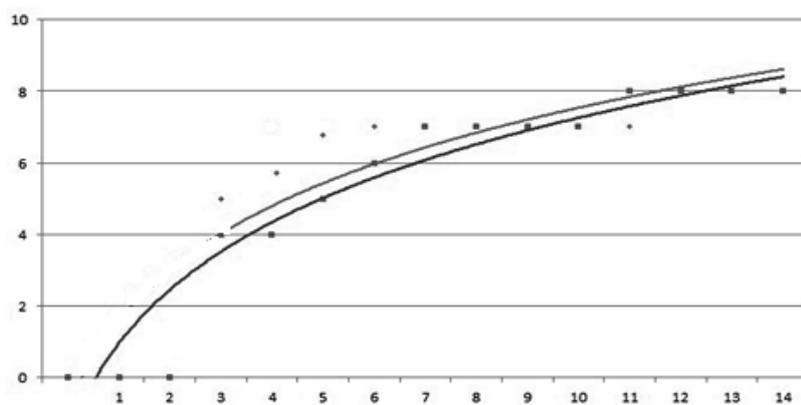
**Рисунок 1 – Кратеры, образовавшиеся при воздействии лазерного излучения на образец из ПММА при атмосферном давлении воздуха**



**Рисунок 2 –** Временные зависимости глубины и ширины образовавшегося кратера под действием лазерного излучения на образец из ПММА при атмосферном давлении воздуха



**Рисунок 3 –** Необратимо измененные зоны, образовавшиеся при воздействии лазерного излучения на образец из ПММА при пониженном давлении (10–2 мм рт. ст.) воздуха



**Рисунок 4 –** Временные зависимости ширины образовавшихся разрушений (каверн) в образце из ПММА под действием лазерного излучения при пониженном давлении (10–2 мм рт. ст.) воздуха

На рисунке 1 отчетливо видно развитие кратера на поверхности ПММА, формирующегося при воздействии на образец лазерного излучения при атмосферном давлении воздуха, окружающего мишень. В то же время на обрабатываемом лазерным излучением образце, находящемся в вакуумной камере (Рисунок 3),

кратер не образовывался, но происходило развитие необратимо измененных зон внутри образца (каверн), формирующихся на неоднородностях ПММА (дефектах). При этом сначала каверна образуется на большем по размерам, но более удаленном от фронтальной поверхности дефекте. После развития зоны разрушения на базе меньшего по размерам первоначально, но более близкого к фронтальной поверхности дефекта, увеличение размеров удаленной каверны прекращается: происходит ее экранировка.

При расположении облучаемого образца в камере с пониженным давлением излучение лазера свободно проникает вглубь материала, что позволяет формироваться очагам пробоя в объеме образца на дефектах и неоднородностях. При этом развитие каверн, расположенных ближе к облучаемой поверхности, препятствует развитию более удаленных каверн (экранировка).

Таким образом, в вакууме (т. е. при отсутствии доступа кислорода), кратер не образуются. Следовательно, основным механизмом образования кратера на поверхности полиметилметакрилата является горение пластика.

The article is devoted to the study of the mechanisms of crater formation under the influence of pulsed laser radiation of moderate intensity on the surface of transparent insulator.

*Семенчук Евгений Олегович*, магистрант физико-технического факультета ГрГУ им. Я. Купалы, Гродно, Беларусь, unata1976-2010@mail.ru.

Научный руководитель – *Иванов Алексей Юрьевич*, доктор физико-математических наук, профессор кафедры теоретической физики и теплотехники ГрГУ им. Я. Купалы, Гродно, Беларусь, ion\_ne@mail.ru.

УДК 621.316

А. И. СИДОРОВИЧ

### ЗАРЯДНОЕ УСТРОЙСТВО АККУМУЛЯТОРОВ ОТ СОЛНЕЧНОЙ БАТАРЕИ С АЛГОРИТМОМ СЛЕЖЕНИЯ ТОЧКИ МАКСИМАЛЬНОЙ МОЩНОСТИ

Представлен принцип работы устройства зарядки аккумуляторных батарей, реализованного на основании алгоритма поиска точки максимальной мощности.

MPPT (Maximum power point tracker) контроллеры являются представителями последнего поколения контроллеров заряда с улучшенным алгоритмом преобразования энергии, полученной от фотомодулей. Подобного рода контроллеры является наиболее адаптивными к условиям эксплуатации аккумуляторной батареи за счет реализации алгоритма слежения точки максимальной мощности.

При рассмотрении стандартной вольт-амперной характеристики фотоэлектрического модуля видно, что максимальная мощность на нагрузке получается при фиксированных значениях тока и напряжения на ней. Совокупность этих значений носит название «точка максимальной мощности».

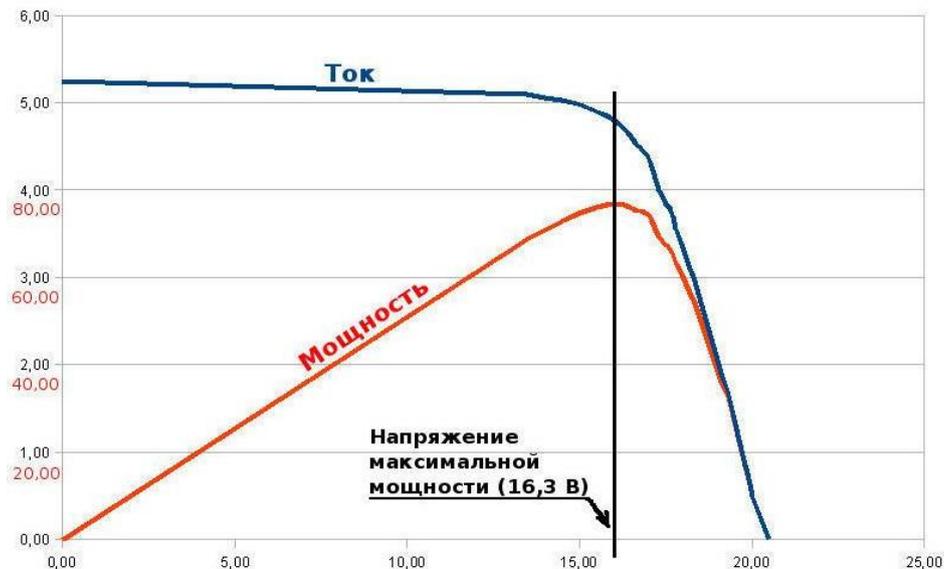


Рисунок 1 – График мощности и тока солнечной батареи в зависимости от напряжения

MPPT контроллер отслеживает значение напряжения на фотомодулях путем изменения тока в цепи, а затем, путем умножения значения напряжения на соответствующее значение тока и сравнения полученных

данных, осуществляет поиск точки максимальной мощности. Контроллер так же следит за этапом заряда, в котором находится аккумулятор (поддержка, выравнивание, насыщение, наполнение) и на основании этих данных осуществляет регулировку тока заряда АКБ.

Принципиальным отличием выше рассмотренного контроллера заключается в нахождении и отслеживании точки максимальной мощности солнечной батареи, в результате чего осуществляется использование всей доступной мощности с применением ШИМ-преобразования при всех режимах заряда. Такой подход позволяет повысить КПД преобразования солнечной энергии на 10-30% в зависимости от глубины разряда аккумулятора[1].

Исходя из достоинств таких контроллеров заряда, планируется изготовить опытный образец, который бы имел стоимость в разы ниже промышленных образцов.

#### Список литературы

1. Контроллеры для солнечных батарей - [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://elektrik.info/main/energy/867-kontrollery-dlya-solnechnyh-batarey.html>. Дата доступа: 22.02.2015.

The principle of operation of the battery charging device implemented on the basis of the search algorithm for the maximum power point is presented.

*Сидорович Андрей Игоревич*, магистрант физико-технического факультета ГрГУ им. Я. Купалы, Гродно, Беларусь, andrey.sidorovich1995@mail.ru.

Научный руководитель – *Василевич Александр Евгеньевич*, кандидат физико-математических наук, доцент кафедры электротехники и электроники ГрГУ им. Я. Купалы, Гродно, Беларусь, vasil@grsu.by.

УДК 681.586.372

А. В. ТЕТЬКО

### МОДЕРНИЗАЦИЯ ТЕХНОЛОГИЧЕСКОГО ПРОЦЕССА ПРОИЗВОДСТВА САХАРА

Рассмотрены пути решения проблем, связанных с оптимизацией режимов работы агрегатов при производстве сахара и вопросы использования систем on-line анализов продуктов сахарного производства.

История развития сахарной промышленности в Белоруссии может быть названа в числе наглядных примеров использования и реализации имеющихся потенциалов развития различных отраслей экономики. Во времена существования СССР 4 сахарных завода Белоруссии играли скорее второстепенную роль по сравнению с такими крупными поставщиками сахара, как заводы Украины и Центральной России. После распада Советского Союза и провозглашения независимости Республики Беларусь первоочередной задачей для этих четырех сахарных заводов страны, как и для всех остальных предприятий республики, стала разработка долгосрочной стратегии выживания.

В начале 90-х гг. белорусские заводы, перерабатывавшие в среднем примерно 4 000 тонн сахарной свёклы в сутки, относились скорее к небольшим предприятиям. Однако как высокий спрос на сахар на внутреннем рынке, так и благоприятные условия для экспорта способствовали тому, что в течение последующих 15 – 20 лет производственные мощности заводов выросли вдвое. Инвестиции направлялись, главным образом, на модернизацию участков подготовки свёклы и продуктовых отделений заводов. Так, например, белорусские заводы были в числе первых заводов на территории бывшего Советского Союза, закупившие центрифуги БМА нового поколения и обновивших за 8 лет весь свой парк центрифуг за счёт машин БМА. Но несмотря на все вложения, большинство сахарных заводов недостаточно укомплектованы оборудованием, позволяющим своевременно контролировать технологический процесс производства. В результате чего происходят потери выхода сахара, нет возможности оперативной оптимизации режимов работы агрегатов, потери связанные с перерасходом вспомогательных веществ (известь, антимагний, антисептики и др.) и повышенные энергозатраты.

Для решения таких проблем требуется выполнение таких задач как:

1. Повышение качества вырабатываемой продукции;
2. Систематизация структуры управления производством;
3. Повышение точности и стабильности данных на основании которых проводится управление.
4. Улучшение качества контрольно-измерительных приборов

Для решения первой задачи был использован зарубежный метод коллег аналогичных предприятий[1], а именно использование в производстве реактора гипса. Гипс ( $\text{CaSO}_4$ ) получается путем окисления известкового молока серной кислотой. Использование гипса в диффузионном процессе позволяет[2]:

- повысить чистоту получаемого диффузионного сока;
- снизить потери сахара в жоме, снизить величину откачки сока из диффузионного аппарата;

- увеличить содержание сухих веществ в жоме;
- увеличить производительность жомового пресса;
- уменьшить количество топлива на сушение прессованного жома.

Что касается остальных поставленных задач, было внесено предложение по использованию систем on-line анализов продуктов сахарного производства, которые состоят из ряда приборов, анализирующих промежуточные продукты в реальном времени. На основании измеренных данных система выполняет расчеты производных величин, формирует управляющие сигналы для АСУ ТП, производит протоколирование измерений и состояний.

Одним из таких приборов является Модуль «Известь»[3] для определения содержания извести в продуктах сахарного производства.

Использование онлайн титрования позволяет непрерывно контролировать процесс. Потенциометрическим титрованием называется метод анализа, основанный на регистрации изменения потенциала индикаторного электрода в процессе химической реакции между определяемым веществом и титрантом.

Все компоненты системы и электроника располагаются в отдельном промышленном шкафу, располагаемом непосредственно возле трубопровода из дефекатора. Все алгоритмы работы системы разработаны в соответствии с «Инструкцией по химико-техническому контролю и учету сахарного производства».

Система имеет локальное управление и централизованное посредством ПО TechAnalyt. Система позволяет выполнять до 10 анализов в час.

В заключении хотелось бы сказать, что использование тех или иных ноу-хау, появляющихся сейчас на рынке, явно положительно сказывается в улучшении производства. В свою очередь, они требуют более упорядоченной, систематизированной и стабильной работы, а в некоторых случаях гораздо больших мощностей отдельных цехов (отделений, агрегатов и т.д.) и, самое главное, крупных капитальных вложений. Исходя из выше сказанного, любая модернизация должна иметь четкий регламент поставленных целей и задач, а так же подчиняться рациональности производимых работ.

#### *Список литературы*

1. Sugar-journal.com.ua/custom/files/Vestnik\_ru/2013/06/13-17.pdf
2. Технологическая инструкция получения гипса для диффузионного процесса ТИ 500053876.048-2017
3. <http://www.labimpex.org/module-lime.html>

In this article, ways to solve problems related to the optimization of the operation modes of aggregates in the production of sugar.

*Тетько Алексей Владимирович*, студент 5 курса физико-технического факультета ГрГУ им. Я. Купалы, Гродно, Беларусь, alex\_guest511@mail.ru.

Научный руководитель – *Комар Владимир Николаевич*, кандидат физико-математических наук, доцент кафедры электротехники и электроники ГрГУ им. Я. Купалы, Гродно, Беларусь.

УКД 537.528

Н. О. УСКОВ

### **УСЛОВИЯ РЕАЛИЗАЦИИ ОПТИМАЛЬНОГО ТЕПЛООВОГО ВЗРЫВА ТОНКИХ ПРОВОЛОЧЕК ИЗ АЛЮМИНИЯ И МЕДИ В ВОДЕ**

Получены теоретические результаты исследования по реализации оптимальных условий взрыва тонких проволок из алюминия и меди в воде. Показано, что удельная энергия, введенная в проводник, не зависит от размеров проводника и от параметров контура, а лишь от константы свойств материала проводника.

Электрогидравлические технологии, которые находят все более широкое применение в различных отраслях реального сектора экономики, очень часто реализуются посредством электрического теплового взрыва тонкого проводника в воде [1]. Для проектирования электрогидравлических устройств важно определить оптимальные условия электрического взрыва проволоки в жидкости. Этот процесс актуален для устройств раскалывающих объекты из бетона и горные породы. В данной работе были определены оптимальные размеры взрывающихся проволок эмпирическим путем из известных энергетических параметров разрядного контура - емкости конденсаторной батареи  $C$ , индуктивности разрядного контура  $L$  и напряжения на конденсаторной батарее  $U_0$  [2]:

$$d_{opt} = \left[ \frac{W_0}{h^* \cdot \sqrt{\frac{L}{C}}} \right]^{\frac{1}{4}} \quad (1)$$

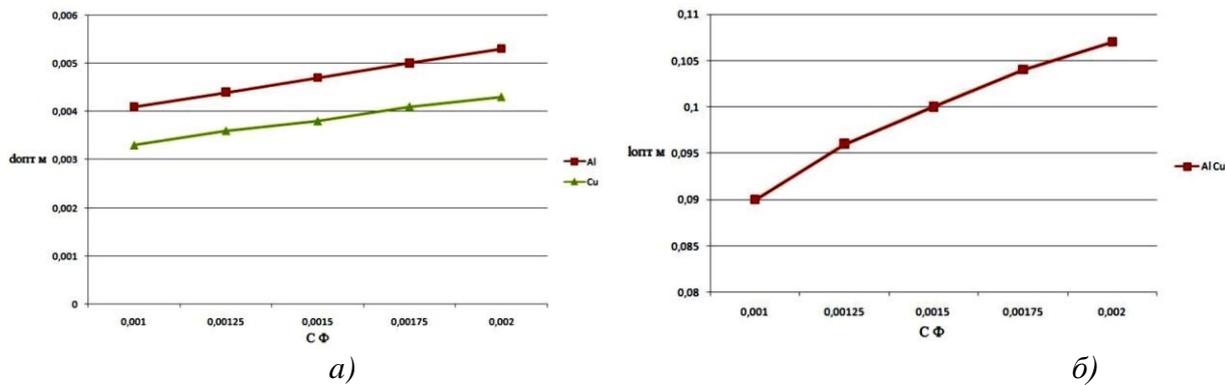
$$l_{opt} = 2 \cdot 10^{-3} U_0^4 \sqrt{LC} \quad , \quad (2)$$

где  $d_{opt}$  и  $l_{opt}$  оптимальные диаметр и длина проводника;  $W_0$  – энергия, запасенная в конденсаторной батарее;  $h^*$  – константа материала проводника с размерностью удельного действия, равная:

$$h^* = \rho_n \delta_{np} (\lambda_{np} + \gamma_{np}) \quad ,$$

где  $\rho_n$  – плотность проводника;  $\delta_{np}$  – удельная электропроводность;  $\lambda_{np}$  – удельная теплота плавления;  $\gamma_{np}$  – удельная теплота парообразования проводника.

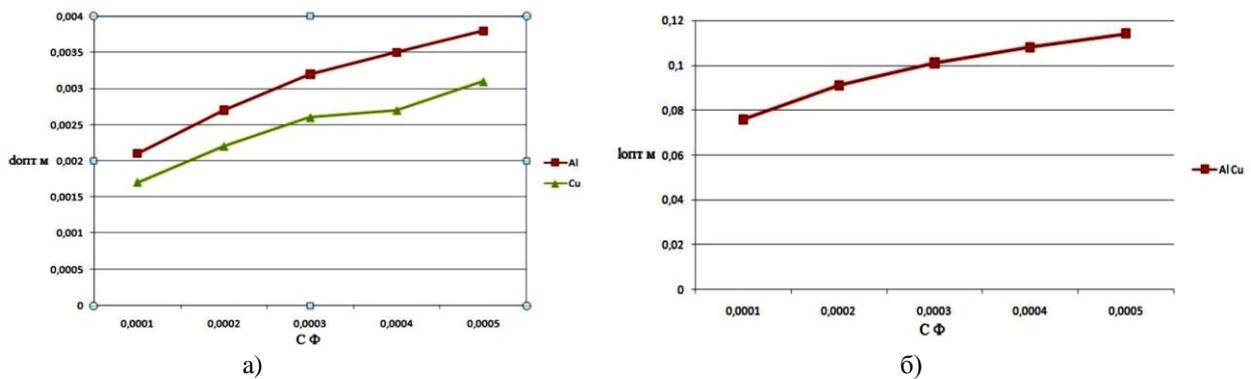
Исходя из соотношений (1), (2) было проведено моделирование оптимальных параметров проводника для алюминия и меди (Al, Cu) при  $L = 0,00000326$  Гн,  $U_0 = 6000$  В и  $C$  от 0.001 до 0.002 Ф, с шагом 0.00025 Ф. Полученные данные представлены на рисунке 1.



**Рисунок 1 – Зависимость оптимальных величин диаметра проводника (а) и длины проводника (б) от заряда конденсаторной батареи при  $U_0 = 6000$  В и  $C$  от 0.001 до 0.002 Ф**

Так же было проведено моделирование при  $U_0 = 9000$  В,  $C$  от 0.0001 до 0.0005 Ф, с шагом 0.0001 Ф и  $U_0 = 20000$  В,  $C$  от 0.000005 до 0.000025 Ф, с шагом 0.000005 Ф. Результаты представлены на рисунке 2 и 3 соответственно.

Зависимость оптимальной длины проводника является функцией, зависящей только от параметров разрядного контура, и одинакова для алюминия и меди.



**Рисунок 2 – Зависимость оптимальных величин диаметра проводника (а) и длины проводника (б) от заряда конденсаторной батареи при  $U_0 = 9000$  В и  $C$  от 0.0001 до 0.0005 Ф**

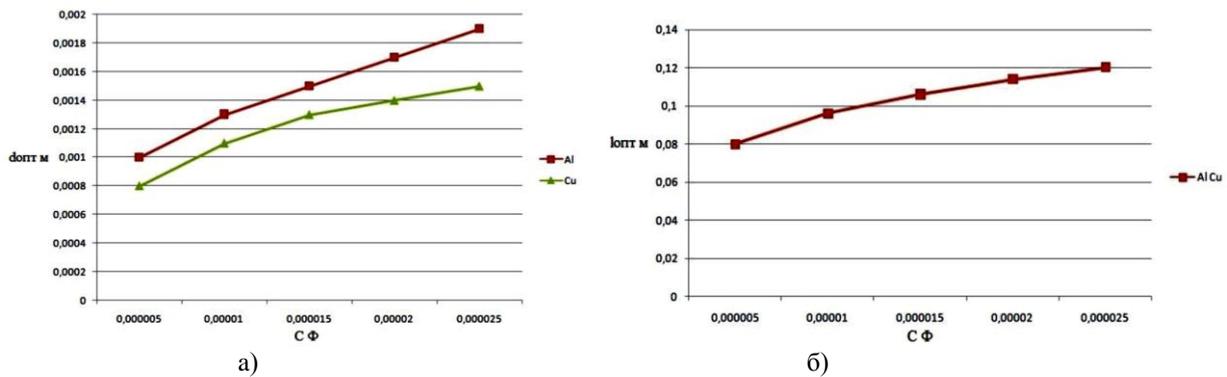


Рисунок 3 – Зависимость оптимальных величин диаметра проводника (а) и длины проводника (б) от заряда конденсаторной батареи при  $U_0 = 20000$  В и  $C$  от 0.000005 до 0.000025 Ф

А оптимальный диаметр проводников варьируется благодаря наличию в (1) константы, учитывающей параметра материала.

Удельная энергия, введенная в проводник:

$$w_{onm} = \left( \frac{W_0}{m} \right)_{onm} = \left[ \frac{\delta_{np} (\lambda_{np} + \gamma_{np})}{8\pi^2 \rho_{np}} \right]^{\frac{1}{2}}$$

Из формулы, очевидно, что удельная энергия не зависит от размеров проводника, параметров контура, а является константой свойств материала проводника. Таким образом, количество энергии, необходимое для осуществления взрыва, для всех материалов различное и не зависит от параметров источника или проводника, а лишь от его свойств.

По полученным данным видно, что минимальными оптимальными параметрами (диаметр и длина) обладает проводник из меди. Однако на практике для получения наибольшего давления при меньших энергетических затратах лучше использовать проволочку из алюминия, так как из-за экзотермической реакции алюминия с водой происходит дополнительный нагрев ее продуктов до высокой температуры, которые и развивают большое давление [3].

#### Список литературы

1. Юткин, Л. А. Электрогидравлический эффект и его применение в промышленности / Л. А. Юткин. – Л. : Машиностроение, 1986. – 253 с.
2. Кривицкий, Е. В. Динамика электровзрыва в жидкости / Е. В. Кривицкий. — К. : Наук. думка, 1986. – 206 с.
3. Гасанов, И. С. Особенности электрического взрыва проводников в жидкости / И. С. Гасанов и [др.] // Проблемы энергетики. – 2003. – № 5. – С. 15–18.

Theoretical results of research on the realization of optimal conditions for the explosion of thin wires from aluminum and copper in water are obtained. It is shown that the specific energy introduced into the conductor does not depend on the dimensions of the conductor and on the parameters of the circuit, but only on the constant of the properties of the conductor material.

Усков Никита Олегович, магистрант физико-технического факультета ГрГУ им. Я. Купалы, Гродно, Беларусь, nikitauskou@mail.ru.

Научный руководитель – Тарковский Викентий Викентьевич, кандидат физико-математических наук, доцент кафедры теоретической физики и теплотехники ГрГУ им. Я. Купалы, Гродно, Беларусь, tarkovsky@grsu.by.

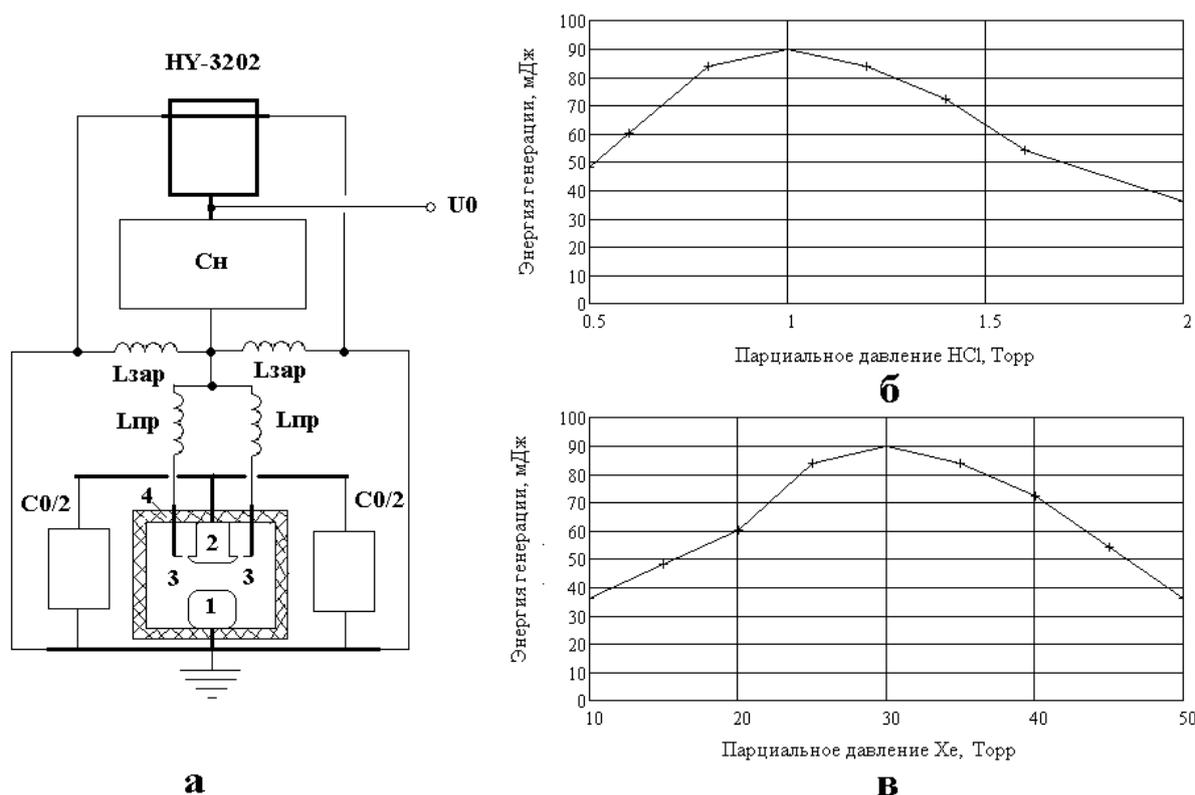
УДК 535.8

В. В. ХАМИЦКИЙ

#### ИССЛЕДОВАНИЕ ГЕНЕРАЦИОННЫХ ХАРАКТЕРИСТИК ХЕСЛ ЛАЗЕРА

Исследована зависимость энергии излучения ХеСл лазера от состава смеси при использовании буферного газа неона и гелия. Максимальная энергия генерации составила 130 мДж для смеси, которая содержит 1,2 Торр HCl, 30 Торр Хе, 2128 Торр неона. Максимальная энергия генерации составила 90 мДж для смеси, которая содержит 1 Торр HCl, 30 Торр Хе, 1520 Торр гелия.

Экимерный электроразрядный лазер имеет конструкцию системы возбуждения, которая представлена на рис. 1а.



Сн – накопительные емкости; C0 – обострительная емкость; Lпр – индуктивность цепи искровой предыонизации; Lзар – зарядная индуктивность; U0 – зарядное напряжение; (1, 2) – основные электроды; 3 – штырьки искровой предыонизации; ПУ – разрядник; 4 – диэлектрический короб для крепления электродов и обострительных конденсаторов; НУ-3202 – тиратрон

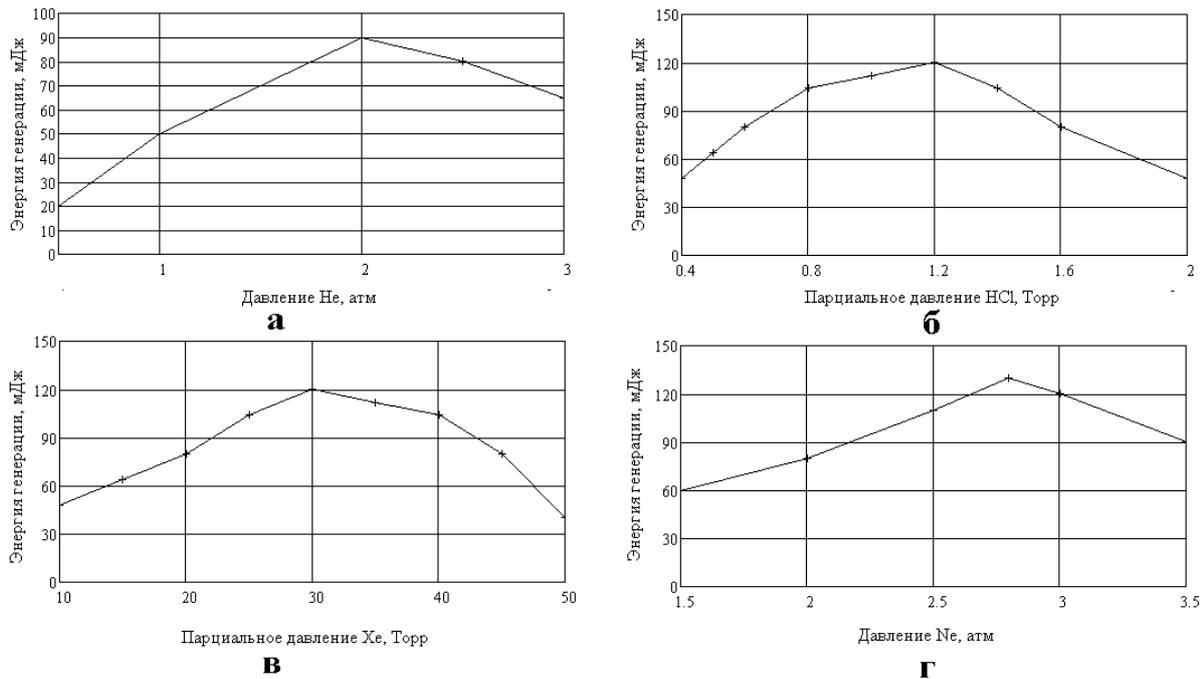
**Рисунок 1** – Схема лазера с системой возбуждения на основе LC – контура и искровой предыонизацией (а); зависимость энергии генерации от парциального давления HCl при использовании буферного газа гелия (б); зависимость энергии генерации от парциального давления Хе при использовании буферного газа гелия (в)

Внутри излучателя располагались основные электроды (1, 2) и штыри искровой предыонизации (3). Штыри предыонизации 3 изготовлены из нержавеющей стали. Предыонизация основного разрядного промежутка осуществляется излучением вспомогательных искровых разрядов между электродом 1 и штырями 3, которые возникали при подаче импульса напряжения на основные электроды. Вдоль каждой стороны электрода 2 было расположено по 40 штырей искровой предыонизации – 3. Для обеспечения пробоя всех искровых промежутков к штырькам предыонизации были подключены сосредоточенные индуктивности Lпр, величина которых подбиралась экспериментально. Полная емкость шести накопительных конденсаторов составила  $C_n = 120$  нФ. Полная емкость обострительных конденсаторов составила  $C_0 = 44$  нФ. Обострительные конденсаторы были расположены равномерно вдоль электродов 1 и 2. В качестве коммутатора использован тиратрон НУ-3202 по схеме с заземленной сеткой.

Исследована зависимость энергии излучения от парциального давления HCl при использовании буферного газа гелия. Использована смесь, которая содержит 30 Торр Хе и 2 1520 Торр He. Использовано зарядное напряжение 20 кВ. На рис. 1б представлена зависимость энергии генерации от парциального давления HCl. Максимальная энергия генерации составила 90 мДж.

Исследована зависимость энергии излучения от парциального давления Хе при использовании буферного газа гелия. Использована смесь, которая содержит 1 Торр HCl и 1520 Торр He. Использовано зарядное напряжение 20 кВ. На рис. 1в представлена зависимость энергии генерации от парциального давления Хе. Максимальная энергия генерации составила 90 мДж.

Исследована зависимость энергии излучения от давления буферного газа гелия. Использована смесь, которая содержит 1 Торр HCl, 30 Торр Хе. Использовано зарядное напряжение 20 кВ. На рис. 2а представлена зависимость энергии генерации от давления гелия. Максимальная энергия генерации составила 90 мДж



**Рисунок 2 – а) зависимость энергии генерации от давления буферного газа гелия; б) зависимость энергии генерации от парциального давления HCl при использовании буферного газа неона; в) зависимость энергии генерации от парциального давления Xe при использовании буферного газа неона; г) зависимость энергии генерации от давления буферного газа неона**

Исследована зависимость энергии излучения от парциального давления HCl при использовании буферного газа неона. Использована смесь, которая содержит 30 Торр Xe и 2280 Торр Ne. Использовано зарядное напряжение 20 кВ. На рис. 2б представлена зависимость энергии генерации от парциального давления HCl. Исследована зависимость энергии излучения от парциального давления Xe при использовании буферного газа неона. Использована смесь, которая содержит 1,2 Торр HCl и 2280 Торр Ne. Использовано зарядное напряжение 20 кВ. На рис. 2в представлена зависимость энергии генерации от парциального давления Xe. Исследована зависимость энергии излучения от давления буферного газа неона. Использована смесь, которая содержит 1,2 Торр HCl, 30 Торр Xe. Использовано зарядное напряжение 20 кВ. На рис. 2г представлена зависимость энергии генерации от давления неона. Максимальная энергия генерации составила 130 мДж

Таким образом, установлено, что максимальная энергия генерации при использовании буферного газа гелия составляет 90 мДж для смеси 1 HCl Торр, 30 Торр Xe, 1520 Торр гелия, а при использовании неона 130 мДж для смеси 1,2 Торр HCl, 30 Торр Xe, 2128 Торр неона. При этом использовалось зарядное напряжение 20 кВ.

The dependence of the XeCl laser radiation energy on the composition of the mixture was studied using a neon and helium buffer gas. The maximum generation energy was 130 mJ for the mixture, which contains 1.2 Torr HCl, 30 Torr Xe, 2128 Torr Neon. The maximum generation energy was 90 mJ for the mixture, which contains 1 Torr HCl, 30 Torr Xe, 1520 Torr of helium.

*Хамицкий Владислав Владимирович*, студент 4 курса физико-технического факультета ГрГУ им. Я. Купалы, Гродно, Беларусь, wlatok@yandex.ru.

Научный руководитель – *Ануфрик Славмир Степанович*, доктор физико-математических наук, профессор кафедры теоретической физики и теплотехники ГрГУ им. Я. Купалы, Гродно, Беларусь, Anufrick@grsu.by.

УДК 53.08

Р. Е. ЦИУНЧИК

## ПОРТАТИВНЫЙ ОСЦИЛЛОГРАФ ДЛЯ НАСТРОЙКИ СТАНКОВ С ЧИСЛОВЫМ ПРОГРАММНЫМ УПРАВЛЕНИЕМ

Представлено устройство, позволяющее исследовать амплитудные и временные характеристики электрического сигнала, и выводить полученный результат на цветной графический дисплей. Отличительной особенностью данного прибора является его малогабаритность при сохранении необходимых функциональных возможностей, что позволяет

значительно облегчить и ускорить настройку станков с числовым программным управлением. Управляющим устройством является микроконтроллер ATmega32 фирмы Atmel.

Используемый микроконтроллер является восьмибитным представителем семейства AVR, микроконтроллер оснащен встроенной FLASH памятью объемом 32 кБ, памятью EEPROM объемом 1 кБ [1].

Для оцифровки подаваемого на вход осциллографа сигнала используется внешний восьмибитный аналого-цифровой преобразователь (АЦП) AD9280. AD9280 является монолитным АЦП с однополярным питанием, со встроенным усилителем и встроенным источником опорного напряжения. AD9280 имеет многоступенчатую конвейерную дифференциальную архитектуру, обеспечивающую скорость дискретизации данных 32 млн выборок в секунду. Единый вход тактового сигнала используется для управления всеми внутренними циклами преобразования. Цифровые выходные данные представляются непосредственно в двоичном формате [2, 3].

Микроконтроллер и АЦП тактируются внешним кварцевым резонатором. Оцифрованный сигнал сохраняется в буфере памяти микроконтроллера. Затем сигнал отображается на дисплее LCD1. Дисплей работает по протоколу SPI, имеет разрешение 120x176 точек. Осциллограф имеет следующие режимы развертки: по фронту, по спаду, однократная, внешний сигналом [4]. В качестве делителя входного сигнала применен коммутатор 74HC4051. Технические характеристики прибора:

- максимальная измеряемая частота – 1 МГц;
- максимальная частота дискретизации – 5 МГц;
- диапазон измеряемых напряжений – 0,05–50 В;

На рисунке 1 изображена схема электрическая принципиальная устройства.

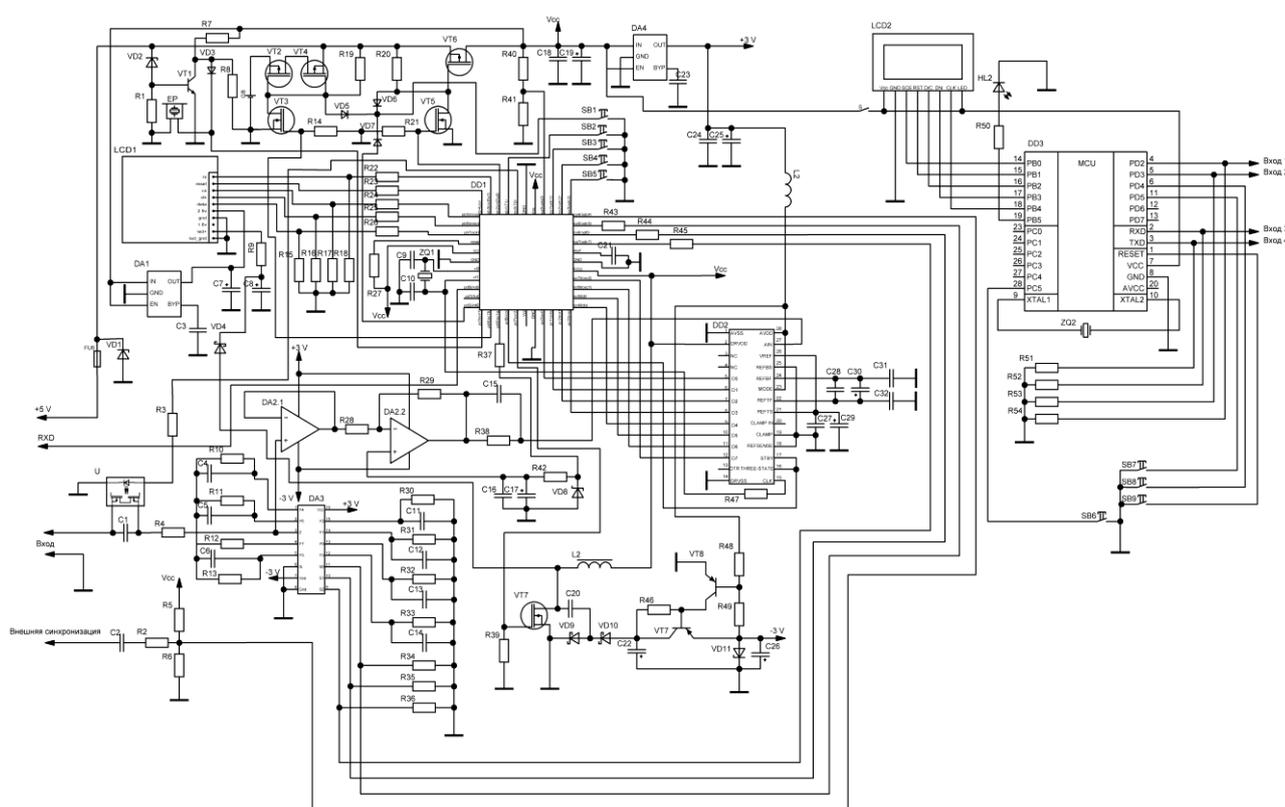


Рисунок 1 – Схема электрическая принципиальная

В представленном устройстве имеется логический анализатор, способный записывать и отображать последовательности цифровых сигналов. Логический анализатор способен исследовать до четырех сигналов. Анализатор собран на микроконтроллере ATmega8 [5]. Данные анализатора выводятся на графический дисплей LCD2. В приборе имеется возможность масштабировать сигнал, прокручивать вперед, назад.

К осциллографу имеется возможность подключения внешних приставок, способных расширить функционал прибора. На данный момент разработаны следующие приставки: генератор сигналов различной формы, цифровой термометр, измеритель параметров конденсаторов, резисторов, катушек индуктивности.

## Список литературы

1. Datasheet по микроконтроллеру ATmega32 [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://www.alldatasheet.com/datasheet-pdf/pdf/77378/ATMEL/ATMEGA32.html>. – Дата доступа: 20.01.2018
2. Герман, А. Е. Основы автоматизации эксперимента. Лабораторный практикум / А. Е. Герман, Г.А. Гачко // Учебное пособие. – Гродно: ГрГУ, 2005.–103 с.
3. Datasheet по АЦП AD9280 [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://www.analog.com/media/en/technical-documentation/data-sheets/AD9280.pdf> – Дата доступа: 23.01.2018
4. Oscilloscope [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://whatis.techtarget.com/definition/oscilloscope>– Дата доступа: 10.01.2018
5. Datasheet по микроконтроллеру ATmega8 [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://www.farnell.com/datasheets/2048764.pdf> – Дата доступа: 26.01.2018

This article describes a portable oscilloscope that allows you to simplify the configuration of various equipment. The device includes a logic analyzer for the study of digital signals. The oscilloscope has the ability to connect various external consoles using the UART, which are able to expand the functionality of the oscilloscope.

*Циунчик Ростислав Евгеньевич*, магистрант физико-технического факультета ГрГУ им. Я. Купалы, Гродно, Беларусь, [rostislav.ciunchik@mail.ru](mailto:rostislav.ciunchik@mail.ru).

Научный руководитель – *Гачко Геннадий Алексеевич*, кандидат физико-математических наук, доцент кафедры общей физики ГрГУ им. Я. Купалы, Гродно, Беларусь, [gachko@grsu.by](mailto:gachko@grsu.by).

УДК 537.633; 533.9.03

Б. М. ШАНДАРОВИЧ, А. И. ЗАНЬКО

### ИСТОЧНИК ДЛЯ ИОННО-АССИСТИРОВАННОГО ОСАЖДЕНИЯ ОПТИЧЕСКИХ ПОКРЫТИЙ

Представлены результаты исследования модернизированного торцевого холловского источника ионов с повышенной эффективностью генерации ионов. Построена модель магнитной системы источника, приведены результаты моделирования величины индукции магнитного поля в ускорительном канале и результаты измерения тока ионного пучка.

Актуальной задачей тонкопленочной технологии является формирование качественных функциональных диэлектрических и проводящих покрытий для оптики и оптоэлектроники с контролируемыми свойствами, такими как: состав, микроструктура, плотность, адгезия, внутренние напряжения, коэффициенты отражения и поглощения и другие. Рациональным путем решения вопроса является использование ионно-лучевого ассистирования осаждению [1], для реализации которого требуются устройства способные генерировать поток ионов низких энергий и высокой плотности в диапазоне давлений от  $6 \cdot 10^{-3}$  Па до  $2 \cdot 10^{-2}$  Па. Одним из таких устройств является торцевой холловский источник ионов (ТХИ) [2].

Классическая конструкция ТХИ, примененная Г. Кауфманом [3], представлена на рисунке 1. Конструкция включает в себя анод с конусообразной полостью и отражатель с отверстиями для ввода газа, помещенные в магнитопроводящий корпус. Магнитное поле создается с помощью одного или нескольких постоянных магнитов размещенных на оси источника под отражателем. Электроны в разрядную область эмитируются накальным катодом, расположенным над выходным отверстием источника (не показан).

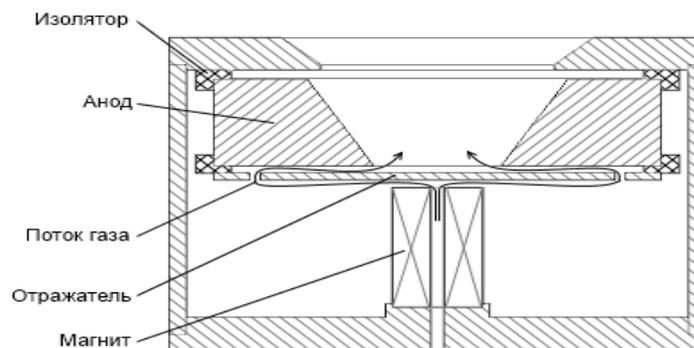


Рисунок 1 – Классическая конструкция ТХИ

К преимуществам ионных источников, в основе которых лежит классическая конструкция, относятся простота обслуживания, надежность, возможность использования реактивных газов, низкий уровень распыления рабочих элементов. Основным недостатком, является невысокая токовая эффективность – отношение ионного тока образуемого пучка ионов к току разряда. Значения ионного тока пучка большинства подобных источников составляют  $\sim 950$  мА, а токовая эффективность обычно не превышает 19 %. Поэтому на

сегодняшний день актуальными являются вопросы разработки низкоэнергетичных источников ассистирования с повышенной эффективностью генерации пучка ионов. Повышение эффективности генерации ионов в ТХИ посредством магнитного поля возможно путем оптимизации соотношения значений радиальной ( $B_x$ ) и осевой ( $B_y$ ) составляющих индукции поля по поверхности анода, т.е. в области плазмообразования. Значения составляющих индукции магнитного поля должны быть подобраны таким образом, чтобы обеспечить беспрепятственное поступление электронов от термокатода в зону плазмообразования и повышения ионизирующей способности электронов в самой области плазмообразования.

С использованием программного комплекса *Comsol Multiphysics* была построена модель магнитной системы классического ТХИ. В результате моделирования были получены графики, показывающие изменение значений радиальной и осевой составляющих индукции магнитного поля, по осям, проходящим через поверхность анода в различных областях (рисунок 2) при значении намагниченности магнита  $9,5 \cdot 10^{-5}$  А/м.

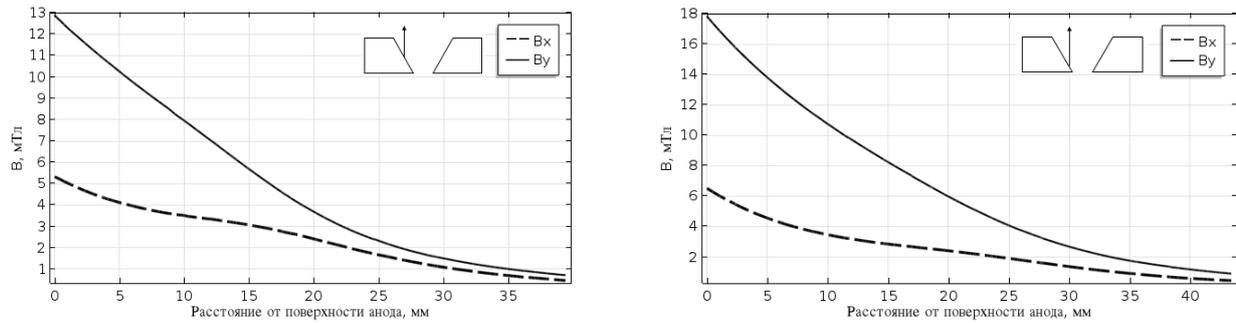


Рисунок 2 – Графики зависимости значений  $B_x$ ,  $B_y$  от расстояния до анода для классического ТХИ

В результате анализа конструкции и магнитной системы классического ТХИ, с учетом установленных эффектов, была разработана модифицированная конструкция ионного источника. Полученное устройство состояло из простых в изготовлении, осесимметричных конструктивных элементов. Магнитное поле создавалось системой из пяти кольцевых магнитов с прямым водным охлаждением. Анодный узел также имел каналы водного охлаждения. Под анодом был установлен отражатель из магнитонепроводящего материала, изолированный от анодного узла диэлектрической пластиной, что было сделано для минимизации утечки разрядного тока и, соответственно, увеличения эффективности генерации ионов. Над магнитной системой был расположен дополнительный полюсной наконечник, который в совокупности с изменением конструкции верхнего магнитопровода, позволил добиться требуемой формы линий магнитной индукции вблизи анода и повысить значения магнитной индукции в области плазмообразования. Результаты моделирования магнитной системы модифицированной конструкции представлены на рисунке 3.

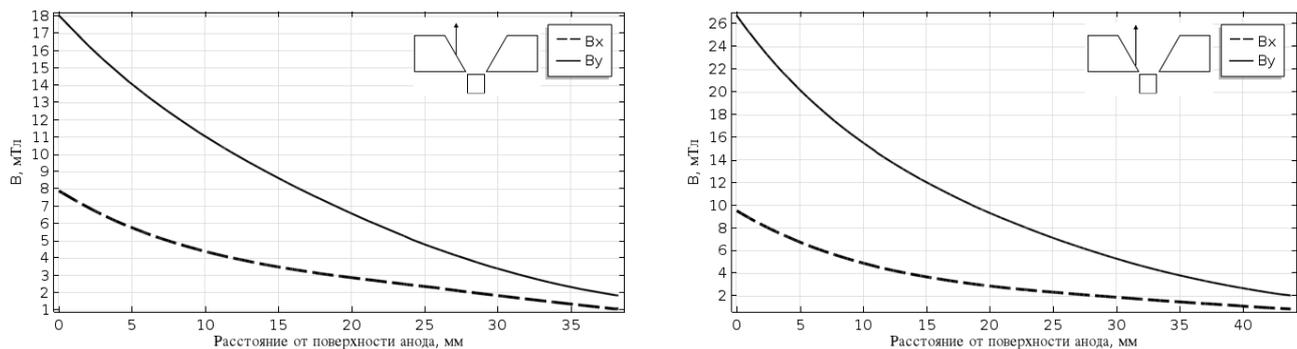


Рисунок 3 – Графики зависимости значений  $B_x$ ,  $B_y$  от расстояния до анода для модифицированной конструкции

Для различных значений протока рабочего газа, с помощью зонда-экрана было произведено измерение тока  $I_n$  ионного пучка в диапазоне напряжений на аноде  $U_a$  от 60 до 200 В с шагом 10 В (рисунок 4).

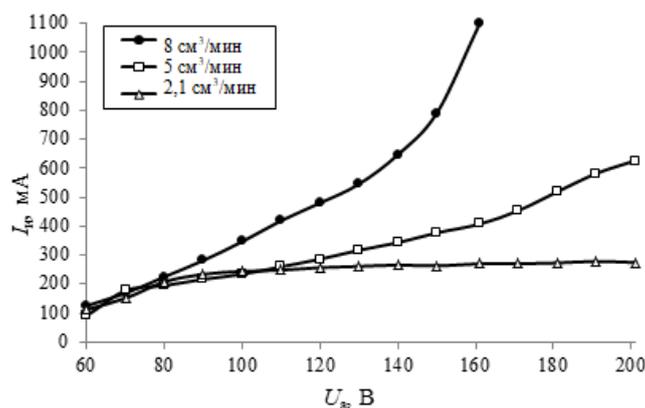


Рисунок 4 – Зависимость тока ионного пучка источника от напряжения на аноде

Установлено, что для модифицированной конструкции значения тока ионного пучка составляют приблизительно 22 % от тока разряда. Максимальное значение ионного тока наблюдалось при напряжении на аноде 160 В, токе разряда 5 А, протоке рабочего газа 8 см<sup>3</sup>/мин и составило 1100 мА. Полученные результаты свидетельствуют об увеличении тока ионного пучка на 150 мА по сравнению с аналогичными устройствами.

#### Список литературы

1. Zhurin, V. V. Industrial Ion Sources / V. V. Zhurin // Wiley-VCH Verlag & Co. KGaA. – 2012. – P. 5–84.
2. Ensinger, W. Ion sources for ion beam assisted thin-film deposition / W. Ensinger // Rev. Sci. Instrum. – 1992. – Vol. 63, № 11. – P. 5217–5233.
3. End-hall ion source: US. Pat. No. 4,862,032 / H.R. Kaufman, R.S. Robinson; applicant H.R. Kaufman – US 06/920,798; appl. 20.10.1986; pub. 29.08.1989 / UPSTO. – 1989. – P. 1–6.

The research results of modified end-Hall ion source with increased efficiency of ion generation were presented. The magnetic system model of development source was built; the results of modeling the magnetic field induction magnitude in the accelerating channel and the results of measuring the ion beam current were shown.

*Шандарович Бажен Михайлович*, магистрант факультета радиотехники и электроники кафедры микро- и наноэлектроники БГУИР, Минск, Беларусь, bazhen.sh@gmail.com.

*Занько Андрей Иванович*, магистрант факультета радиотехники и электроники кафедры микро- и наноэлектроники БГУИР, Минск, Беларусь, zanko.andrei@inbox.ru.

Научный руководитель – *Котов Дмитрий Анатольевич*, кандидат технических наук, доцент кафедры микро- и наноэлектроники БГУИР, Минск, Беларусь, kotov@bsuir.by.

УДК 621.396

С. С. ШЕШКО, Е. В. ЖУК

### СИНХРОННЫЙ УСИЛИТЕЛЬ ДЛЯ ИЗМЕРЕНИЯ МАЛЫХ СИГНАЛОВ

Данный метод и приборы, основанные на методе применяются везде, где требуется обнаружение слабых сигналов и измерение их параметров на фоне сильных помех, в астрономии, геофизике, радиосвязи, навигации и др.

Синхронный усилитель – тип электронного усилителя, в котором применён принцип синхронного детектирования сигнала. Позволяет обнаруживать периодические полезные сигналы с заранее известной частотой на фоне очень сильных помех [1].

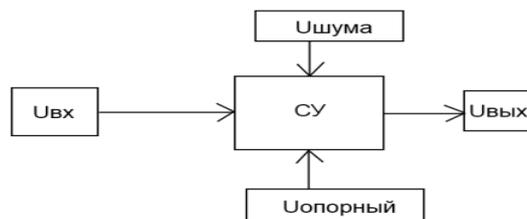


Рисунок 1 – Блок-схема синхронного усилителя

Главными элементами синхронного усилителя являются ключ (см. Рис.1) и интегратор сигнала. Ключ коммутируется с частотой полезного сигнала, а выход ключа подключён к интегратора сигнала, например, RC-фильтру [2]. Допустим, что полезный сигнал синусоидальный, который аддитивно смешан с сигналом шума  $U_n(t)$ , то есть сигнал, подаваемый на ключ, имеет вид:  $U_{sn}(t)=A\sin(\omega t)+U_n(t)$ . Тогда выходной сигнал интегратора спустя  $n+1$  периодов будет:

$$U_1(t) = \int_{nT}^{nT+\frac{T}{2}} A \sin(\omega t) dt + \int_{nT}^{nT+\frac{T}{2}} U_n(t) dt.$$

Где в подынтегральном выражении полезный сигнал будет равен  $(n+1)A$ , а сумма интегралов с шумовым сигналом близка к нулю [1]. В результате интегрирования полезный сигнал усиливается в  $n+1$  раз, а шум фактически подавляется. Для исследования работы синхронного усилителя была собрана модель, позволяющая проимитировать создание опорного сигнала при помощи регистра сдвига и 8-ми ключей и интегратора, как показано на рис.2.

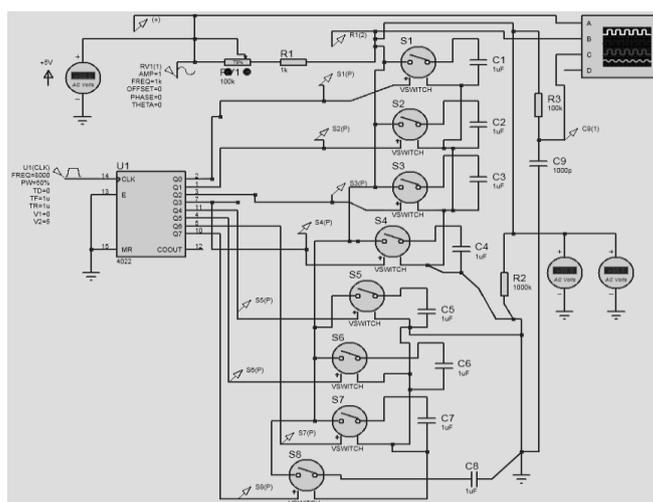


Рисунок 2 – Модель синхронного усилителя

Исследования работы модели позволило сделать вывод о возможности получения сигнала близкого по форме к входному с использованием элементов цифровой техники, имитирующих опорный сигнал.

#### Список литературы

1. Википедия. Свободная энциклопедия [Электронный ресурс] / Синхронный усилитель – Режим доступа: [https://ru.wikipedia.org/wiki/Синхронный\\_усилитель](https://ru.wikipedia.org/wiki/Синхронный_усилитель).
2. Большая энциклопедия [Электронный ресурс] / Синхронный усилитель – Режим доступа: <http://www.ngpedia.ru/id545044p1.html>.

The synchronous amplifier and its model for weak signals was studied.

*Шешко Сергей Сергеевич*, студент 3 курса физико-технического факультета ГрГУ им. Я. Купалы, Гродно, Беларусь, S.Senchilo@mail.ru.

*Жук Елизавета Васильевна*, студентка 3 курса физико-технического факультета ГрГУ им. Я. Купалы, Гродно, Республика Беларусь, elizabeth.zh@mail.ru.

Научный руководитель – *Ассанович Борис Алиевич*, кандидат технических наук, доцент кафедры информационных систем и технологий ГрГУ им. Я. Купалы, Гродно, Беларусь.

УДК: 53.087.62

Д. В. ЯРМОЛИК

### АВТОМАТИЗИРОВАННАЯ ФОТОФИКСАЦИЯ ПОКАЗАНИЙ ПРИБОРОВ УЧЁТА КОЛИЧЕСТВА ПОТРЕБЛЯЕМОЙ ВОДЫ В ПРОЦЕССЕ ИХ ПОВЕРКИ

Разработка универсального метода съема показаний при проверке счетчиков объема воды на основе фотофиксации отсчетного устройства водосчетчика.

В соответствии с требованиями методики поверки относительную погрешность счетчика при поверке определяют как относительное отклонение показаний объема воды, измеренного поверяемым счетчиком, и объема воды, измеренного эталонным средством измерений (СИ) объема. В качестве эталонного СИ может применяться расходомерная установка, реализующая объемный метод или метод взвешивания, или расходомерная установка с эталонным счетчиком в режиме непосредственного сличения. Снятие показаний возможно как визуальным методом, так и с помощью внешних или встраиваемых в счетчик устройств. При визуальном снятии показаний допускается округлять значение объема до половины цены деления младшего разряда.

Относительную погрешность счетчика определяют при каждом из следующих трех значениях поверочных расходов, выбранных из диапазонов:

- а) между  $Q_1$  и  $1,1 \cdot Q_1$ ;
- б) между  $Q_2$  и  $1,1 \cdot Q_2$ ;
- в) между  $0,9 \cdot Q_3$  и  $Q_3$ .

При каждом поверочном расходе выполняют одно измерение. Снятие показаний со счетчика воды необходимо производить при установившемся поверочном расходе, т.е. в то время когда все указатели объема, на отсчетном устройстве счетчика воды, находятся в постоянном движении или вращении, что делает не возможным точное снятие показаний.

Для обеспечения серийной поверки однотипных приборов применяют ряд методов для считывания показаний с приборов:

- импульсный (сухой контакт, геркон)

Измеряя частоту импульсов можно определить мгновенный расход воды, а посчитав их количество можно определить объем воды прошедший через водосчетчик.

- оптоэлектронный

Метод использует отражение светового луча, исходящего от измерительного прибора, который затем отражается от вращающейся звездочки водосчетчика.

Данные методы применимы для водосчетчиков поверяемых большими партиями там, где их производят.

В организации, обслуживающие приборы учета воды, попадают в поверку приборы различных типов и диаметров. Для таких приборов применимы следующие методы считывания показаний:

- по дисплею или счетному механизму

В данном методе возможно считывание показаний визуально или с помощью фотокамеры.

- с помощью стробоскопа

При использовании стробоскопического метода объекты кажутся неподвижными, когда частота высокоскоростных вспышек совпадает со скоростью вращения объекта. Сравнив частоту стробоскопа с частотой вращения звездочки водосчетчика можно определить мгновенный расход воды.

Наиболее универсальным методом съема показаний при поверке является фотографирование отсчетного устройства водосчетчика. На Рисунке 1 представлена блок-схема автоматизации поверки водосчетчика.



Рисунок 1 – Блок-схема автоматизации поверки водосчетчика

Разрабатываемый универсальный метод съема показаний, при поверке счетчиков объема воды, позволит унифицировать подход к поверке всех типов водосчетчиков, даст возможность наиболее полно выполнять требования технических нормативных правовых актов (выполнять требования методик поверки), сократит погрешность при съеме показаний с вращающихся указателей объема отсчетного устройства водосчетчика.

Проведенная работа поможет минимизировать участие человека в процессе поверки счетчиков жидкости. Сохраненные фото отсчетных устройств дадут возможность восстановить протокол поверки при необходимости.

*Список литературы*

1. СТБ 8046-2015. Счетчики холодной питьевой воды и горячей воды. Методика поверки.
2. СТБ ISO 4064-1-2007. Измерение расхода воды в закрытых трубопроводах под полной нагрузкой. Счетчики холодной питьевой воды и горячей воды. Технические требования.

Development of a universal method for taking readings when checking water volume meters on the basis of the photographic fixation of a counting device of a water meter.

*Ярмолик Дмитрий Владимирович*, магистрант физико-технического факультета ГрГУ им. Я. Купалы, Гродно, Беларусь, [dima2000\\_j@mail.ru](mailto:dima2000_j@mail.ru).

Научный руководитель – *Герман Андрей Евгеньевич*, кандидат физико-математических наук, доцент кафедры общей физики ГрГУ им. Я. Купалы, Гродно, Беларусь, [german@grsu.by](mailto:german@grsu.by).