

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ
Одеський національний університет імені
І. І. Мечникова

MINISTRY OF EDUCATION AND SCIENCE OF
UKRAINE
Odesa I. I. Mechnikov National University

**СЕНСОРНА
ЕЛЕКТРОНІКА
І МІКРОСИСТЕМНІ
ТЕХНОЛОГІЇ
2020 — Т. 17, № 3**

Науково-технічний журнал

Заснований 13.11.2003 року.
Виходить 4 рази на рік

УДК 681.586

Засновник Одеський національний
університет імені І. І. Мечникова

За підтримки Українського
фізичного товариства

Свідоцтво про державну реєстрацію КВ
№ 8131

Журнал входить до переліку фахових видань
ВАК України з фізико-математичних,
технічних та біологічних наук

Журнал реферується РЖ «Джерело»
і ВІНІТІ (Росія), включено в міжнародні бази
Index Copernicus, РІНЦ, наукова електронна
бібліотека Cross Ref. Elibrary, Directory of
Research Journal Indexing, General Impact
Factor EBSCO

Видається за рішенням Вченої ради
Одеського національного університету
імені І. І. Мечникова
Протокол № 1 від 15.09.2020 р

Адреса редакції:
вул. Дворянська, 2, МННФТЦ (НДЛ-3),
Одеський національний університет
імені І. І. Мечникова, Одеса, 65082, Україна.
Тел./Факс: +38(048)723-34-61

**SENSOR
ELECTRONICS
AND MICROSYSTEM
TECHNOLOGIES
2020 — VOL. 17, № 3**

Scientific and Technical Journal

It is based 13.11.2003 року.
The Journal issue four times a year

UDC 681.586

Founded by Odesa I. I. Mechnikov
National University

At support of the Ukrainian Physical Society

Certificate of State Registration КВ № 8131

The Journal is a part of list of the issues
recommended by SAK of Ukraine on physical
and mathematical, engineering and biological
sciences

The Journal is reviewed by RJ «Djerelo»
and RJ ICSTI (Russia), is included in the
International Base Index Copernicus, RSCI,
Cross Ref. Elibrary, Directory of Research
Journal Indexing, General Impact Factor
EBSCO

Publishes on the resolution of Odesa
I. I. Mechnikov National University
Scientific Council.
Transaction № 1, 15.09.2020

Editorial address:
2, Dvoryanskaya Str., ISEPTC (RL-3),
Odesa I. I. Mechnikov National University,
Odesa, 65082, Ukraine.
Ph./Fax: +38(048)723-34-61

Редакційна колегія

Головний редактор – **В. А. Сминтина**
Заступник головного редактора – **Я. І. Лепіх**
А. П. Балабан (Одеса, Україна) –
відповідальний секретар

О. Є. Беляєв (Київ, Україна)
І. В. Блонський (Київ, Україна)
В. Г. Вербицький (Київ, Україна)
Б. М. Галкін (Одеса, Україна)
Ю. В. Гуляєв (Москва, Росія)
Ю. О. Гунченко (Одеса, Україна)
А. Д'Аміко (Рим, Італія)
Н. Джаффрезік Рене (Ліон, Франція)
С. В. Дзядевич (Київ, Україна)
Г. В. Єльська (Київ, Україна)
В. О. Іваниця (Одеса, Україна)
О. М. Калашніков (Ноттінгем, Велика Британія)
О. В. Коваленко (Дніпро, Україна)
І. А. Кравченко (Одеса, Україна)
В. Г. Литовченко (Київ, Україна)
С. В. Ленков (Київ, Україна)
Є. В. Малахов (Одеса, Україна)
А. Медвідь (Ріга, Латвія)
А. С. Опанасюк (Суми, Україна)
С. М. Рябченко (Київ, Україна)
В. А. Скришевський (Київ, Україна)
О. П. Солдаткін (Київ, Україна)
М. Ф. Стародуб (Київ, Україна)
Й. М. Стахіра (Львів, Україна)
М. В. Стріха (Київ, Україна)
М. В. Ткач (Чернівці, Україна)
А. Чаудхрі (Чандігар, Індія)
Є. М. Шерегій (Жешув, Польща)

Editorial Board

Editor-in-Chief – **V. A. Smyntyna**
Vice Editor-in-Chief – **Ya. I. Lepikh**
A. P. Balaban (Odesa, Ukraine) –
responsible editor

A. E. Belyaev (Kiev, Ukraine)
I. V. Blonskii (Kiev, Ukraine)
V. G. Verbitsky (Kiev, Ukraine)
B. M. Galkin (Odesa, Ukraine)
Yu. A. Gulyaev (Moscow, Russia)
Yu. O. Gunchenko (Odesa, Ukraine)
A. D'Amiko (Rome, Italy)
N. Jaffrezik Renault (Lyon, France)
S. V. Dzyadevych (Kiev, Ukraine)
G. V. Elskaya (Kiev, Ukraine)
V. O. Ivanytsia (Odesa, Ukraine)
O. M. Kalashnikov (Nottingham, United Kingdom)
O. V. Kovalenko (Dnipro, Ukraine)
I. A. Kravchenko (Odesa, Ukraine)
V. G. Litovchenko (Kiev, Ukraine)
S. V. Lenkov (Kiev, Ukraine)
E. V. Malakhov (Odesa, Ukraine)
Arturs Medvids (Riga, Latvia)
A. S. Opanasyuk (Sumy, Ukraine)
S. M. Ryabchenko (Kiev, Ukraine)
V. A. Skryshevsky (Kiev, Ukraine)
A. P. Soldatkin (Kiev, Ukraine)
N. F. Starodub (Kiev, Ukraine)
J. M. Stakhira (Lviv, Ukraine)
M. V. Strikha (Kiev, Ukraine)
M. V. Tkach (Chernivtsi, Ukraine)
A. Chaundhri (Chandigarh, India)
E. M. Sheregii (Rzeszow, Poland)

Науковий редактор випуску
та відповідальний за випуск – **Я. І. Лепіх**

ЗМІСТ**CONTENTS**

Фізичні, хімічні та інші явища, на основі яких можуть бути створені сенсори
Physical, chemical and other phenomena, as the bases of sensors

R. M. Peleshchak, R. Ya. Leshko, D. S. Karpyn

INFLUENCE OF THE QUANTUM DOT MATERIAL DEFORMATION ON TAMM SURFACE LEVELS 4

Р. М. Пелещак, Р. Я. Лешко, Д. С. Карпін

ВПЛИВ ДЕФОРМАЦІЇ МАТЕРІАЛУ КВАНТОВОЇ ТОЧКИ НА ПОВЕРХНЕВІ РІВНІ ТАММА

Оптичні, оптоелектронні і радіаційні сенсори
Optical and optoelectronic and radiation sensors

Ya. I. Lepikh, V. I. Santoniy, V. V. Yanko, L. M. Budianskaya, I. O. Ivanchenko

OPTOELECTRONIC RADAR FOR THE HIGH-SPEED OBJECTS MOVEMENT PARAMETER DETERMINATION 12

Я. І. Лепіх, В. І. Сантоній, В. В. Янко, Л. М. Будіянська, І. О. Іванченко

ОПТОЕЛЕКТРОННИЙ РАДАР ДЛЯ ВИЗНАЧЕННЯ ПАРАМЕТРІВ РУХУ ШВИДКІСНИХ ОБ'ЄКТІВ

Сенсори та інформаційні системи
Sensors and information systems

P. P. Fastykovsky, O. V. Tkachenko, Ya. I. Lepikh, M. A. Glauberman

USE OF SEISMIC SIGNALS' TIME PARAMETERS FOR MOVING OBJECTS RECOGNITION BY REMOTE SEISMIC DEVICES 19

П. П. Фастиковський, О. В. Ткаченко, Я. І. Лепіх, М. А. Глауберман

ВИКОРИСТАННЯ ЧАСОВИХ ПАРАМЕТРІВ СЕЙСМОСИГНАЛІВ ДЛЯ РОЗПІЗНАВАННЯ РУХОМИХ ОБ'ЄКТІВ ВІДДАЛЕНИМИ СЕЙСМІЧНИМИ ПРИБОРАМИ

V. G. Melnyk, P. I. Borschov, V. K. Beliaev, O. D. Vasylenko, O. L. Lameko, O. V. Slitskiy

IMPLEMENTATION AND EXPERIMENTAL RESEARCH OF THE TEST AND REFERENCE SIGNALS DIGITAL GENERATORS FOR IMPEDANCE MEASUREMENT IN WIDE FREQUENCY BAND 27

В. Г. Мельник, П. І. Борщов, В. К. Беляєв, О. Д. Василенко, О. Л. Ламеко, О. В. Сліцький

РЕАЛІЗАЦІЯ ТА ЕКСПЕРИМЕНТАЛЬНІ ДОСЛІДЖЕННЯ ШИРОКОСМУГОВИХ ЦИФРОВИХ ГЕНЕРАТОРІВ ТЕСТОВИХ І ОПОРНИХ СИГНАЛІВ ДЛЯ ВИМІРЮВАННЯ ІМПЕДАНСУ

A. V. Doroshenko, M. A. Glauberman, Ya. I. Lepikh, A. P. Balaban

SOLAR SYSTEMS BASED ON THERMAL AND PHOTOELECTRIC SOLAR ENERGY CONVERTERS 40

А. В. Дорошенко, М. А. Глауберман, Я. І. Лепіх, А. П. Балабан

СОНЯЧНІ СИСТЕМИ НА ОСНОВІ ТЕРМІЧНИХ І ФОТОЕЛЕКТРИЧНИХ ПЕРЕТВОРЮВАЧІВ СОНЯЧНОЇ ЕНЕРГІЇ

Персоналії. До 80-річчя академіка Національної Академії Наук України Єльської Ганни Валентинівни 51

Персоналії. До 80-річчя члена-кореспондента Національної Академії Наук України Сергія Михайловича Рябченка 53

Інформація для авторів
Вимоги до оформлення статей у журнал 57

Information for authors
The requirements on papers preparation 60

ФІЗИЧНІ, ХІМІЧНІ ТА ІНШІ ЯВИЩА, НА ОСНОВІ ЯКИХ МОЖУТЬ БУТИ СТВОРЕНІ СЕНСОРИ

PHYSICAL, CHEMICAL AND OTHER PHENOMENA, AS THE BASES OF SENSORS

PACS 73.22.-f, 73.21.La, 73.20.At

DOI <https://doi.org/10.18524/1815-7459.2020.3.205924>

INFLUENCE OF THE QUANTUM DOT MATERIAL DEFORMATION ON TAMM SURFACE LEVELS

R. M. Peleshchak, R. Ya. Leshko, D. S. Karpyn

Physics Department, Ivan Franko Drohobych State Pedagogical University
Stryiska Str., 3, Drohobych, Lviv Region, 82100
leshkoroman@gmail.com

INFLUENCE OF THE QUANTUM DOT MATERIAL DEFORMATION ON TAMM SURFACE LEVELS

R. M. Peleshchak, R. Ya. Leshko, D. S. Karpyn

Abstract. Influence of the quantum dot material deformation on Tamm surface levels in the strained InAs/GaAs nanosystem has been studied. The research has been provided in the framework of deformation potential. The dependence of the Tamm surface energy on the quantum dot size in the strained InAs/GaAs nanosystems has been obtained.

Keywords: electron-deformation interaction, quantum dot, surface states, strained nanoheterosystem.

ВПЛИВ ДЕФОРМАЦІЇ МАТЕРІАЛУ КВАНТОВОЇ ТОЧКИ НА ПОВЕРХНЕВІ РІВНІ ТАММА

Р. М. Пелешак, Р. Я. Лешко, Д. С. Карпин

Анотація. Досліджено вплив деформації матеріалу квантової точки на поверхневі рівні Тамма у напруженій наногетеросистемі InAs/GaAs. Дослідження проведено у рамках деформаційного потенціалу. Отримано залежність енергії поверхневих рівнів Тамма від розмірів квантової точки у напруженій гетеросистемі InAs/GaAs.

Ключові слова: електрон-деформаційна взаємодія, квантова точка, поверхневі стани, напружена наногетеросистема.

ВЛИЯНИЕ ДЕФОРМАЦИИ МАТЕРИАЛА КВАНТОВОЙ ТОЧКИ НА ПОВЕРХНОСТНЫЕ УРОВНИ ТАММА

Р. М. Пелещак, Р. Я. Лешко, Д. С. Карпин

Аннотация. Исследовано влияние деформации материала квантовой точки на поверхностные уровни Тамма в напряженной наногетеросистеме InAs/GaAs. Исследование проведено в рамках деформационного потенциала. Получена зависимость энергии поверхностных уровней Тамма от размеров квантовой точки в напряженной гетеросистеме InAs/GaAs.

Ключевые слова: электрон-деформационная взаимодействие, квантовая точка, поверхностные состояния, напряженная наногетеросистемах.

I. INTRODUCTION

Modern technologies for the fabrication of quasi-dimensional systems (for example, the Stran-sky-Krastanov method) make it possible to obtain stressed QDs on a substrate of a given semiconductor [1]. The reason of appearance of strained QDs is the InAs/GaAs heterosystem is the mismatch of the constant lattices of these materials.

The theory, which describing the effect of deformation on the spectra of quasiparticles in stressed QDs is well developed for today [2–5]. In these works, the equation of elasticity is solved taking into account the Laplace pressure, external pressure, growth temperature, mismatch of lattice parameter, presence of impurity and self-consistent elastic interaction between QDs. It has been shown that, due to these effects, the depth of the potential well for quasiparticles (electrons and holes) decreases, so their energy decreases. This leads to change the effective band gap (optical gap), which influence on absorption and luminescence spectra.

Experimental works (devoted to the photoluminescence) shows that in addition to the main sharp peaks (caused by excitons), a longwave wide peak [6–8] is observed, which is associated with impurity and surface states. Theoretical work [9] clearly shows that the contribution to this long-wave luminescence “tail“ is given by impurity acceptor states. However, the full explanation of this dependence is not exhaustive. The reasons for

the existence of a “tail“ of luminescence, which consist in the presence of surface states, are assumed. Therefore, it is logical to determine the influence of the surface. It can be the next step of constructing a clear and consistent theory of QD surface states.

As shown in [10, 11], there is a specific type of surface states, which are caused by the presence of a polarization trap near the QD surface. Moreover, the trap depth is determined by the difference in the dielectric constant of the materials of the QD and the matrix. In addition to these types of surface states, there are also other surface states, in particular Tamm surface states [12], which are modified due to the confinement potential. These states also are changed due to the electron-deformation interaction, which is essential in strained heterosystems with QDs [5]. That is why the aim of this work is to determine the effect of electron-deformation interaction on the formation of Tamm surface states in nanosystems as the next step in the construction of the theory of surface states in nanoheterosystems with QDs

II. THE NANOSYSTEM ENERGY TAKING INTO ACCOUNT ELASTIC DEFORMATIONS

Let us to consider an InAs/GaAs heterosystem with a coherently stressed spherical QDs InAs with the radius $a \geq a_0$, where a_0 is the lattice constant of the QD material. The following approxi-

mations have been used to reduce the problem with a large number of QDs to a single QD task: the energy of pair-wise elastic interaction between QDs is replaced by the energy of interaction of every QD with the average field of elastic deformation of all other QDs $\sigma_{eff}(N-1)$ (self-consistent elastic interaction between QDs) [3–5]. Due to the mismatch of the lattices constant of the QD and the matrix, the QD can be considered as a dilation nanoinclusion in the GaAs matrix (the cavity volume is less than the inclusion volume on). The electrons are confined in a spherical rectangular well.

$$U_{conf}(r) = \begin{cases} 0, & r \leq a, \\ U_{conf} & r > a. \end{cases} \quad (2.1)$$

We denote the change in the depth of the potential well for the electron (electron-deformation potential) due to deformations by

$$U_d(r) = \begin{cases} 0, & r \leq a, \\ -\left|D^{(1)}\varepsilon^{(1)}\right| - \left|D^{(2)}\varepsilon^{(2)}\right| & r > a, \end{cases} \quad (2.2)$$

where $\varepsilon^{(i)} = \text{Sp}\varepsilon^{(i)}$, $\varepsilon^{(i)}$ is deformation tensor in i -th environment, $D^{(i)}$ is hydrostatic deformation potential constants, $i = \begin{cases} 1 \equiv InAs \\ 2 \equiv GaAs \end{cases}$.

Accordingly, the total potential energy of the electron has form

$$\begin{aligned} U(r) &= U_{conf}(r) + U_d(r) = \\ &= \begin{cases} 0, & r \leq R_0, \\ U_{conf} - \left(\left|D^{(1)}\varepsilon^{(1)}\right| + \left|D^{(2)}\varepsilon^{(2)}\right| \right) & r > R_0, \end{cases} = \\ &= \begin{cases} 0, & r \leq a, \\ U_0 & r > a. \end{cases} \end{aligned} \quad (2.3)$$

For finding $\varepsilon^{(i)} = \text{Sp}\varepsilon^{(i)}$, the displacement of atoms were calculated, as in [3–5], and the corresponding boundary conditions were applied, taking into account the Laplace pressure and the mean field of elastic deformations. Schrodinger equation for electron with Hamiltonian which account $U_d(r)$

$$\hat{\mathbf{H}}_e = -\frac{\hbar^2}{2} \nabla \frac{1}{m_e} \nabla + U(r) \quad (2.4)$$

has been solved exactly, where

$$m_e = \begin{cases} m_e^{(1)}, & r \leq a, \\ m_e^{(2)}, & r > a \end{cases}$$

is the electron effective mass in each medium. Solutions for states where $E < U_0$, due to the spherical symmetry of the problem, is given by the product of an angular component (spherical harmonics) and a radial component, which is expressed by a Bessel first-order spherical function and a modified spherical Bessel function of the second kind:

$$\begin{aligned} \psi_e(r, \theta, \varphi) &= \chi_e(r) Y_{l,m}(\theta, \varphi), \\ \chi_e(r) &= \begin{cases} A_e^{(1)} j(kr), & r \leq a, \\ A_e^{(2)} k(\eta r), & r > a, \end{cases} \end{aligned} \quad (2.5)$$

where $k = \sqrt{2m_e^{(1)}E/\hbar^2}$, $\eta = \sqrt{2m_e^{(2)}(U_0 - E)/\hbar^2}$. With using the Ben-Daniel-Duke standard boundaries conditions and normalize conditions, the system energy and unknown coefficients has been determined.

After calculating, the energy of the ground E_{1s} state and first excited state E_{1p} have been determined, with and without electron-deformation interaction. The parameters of crystals and constants have been used as in [5]. The results of the calculations are presented in figure 1.

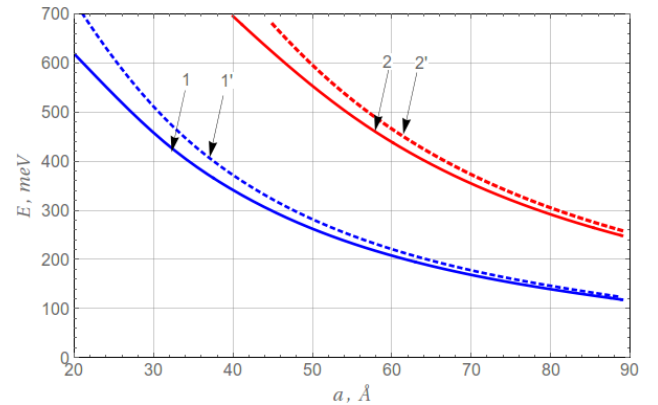


Fig. 1. The energy of the ground (curves 1, 1') and first excited (curves 2, 2') states of the electron, taking into account the electron-deformation interaction (curves 1, 2) and without it (curves 1', 2'), as a function of the QD radius

The figure 1 shows that taking into account the electron-deformation interaction leads to a decrease in the energy of the ground and excited states due to the reduction of the effective depth of the potential well due to deformation effects. Accordingly, the transition energy between these states will vary depending on the electron-deformation interaction (see figure 2).

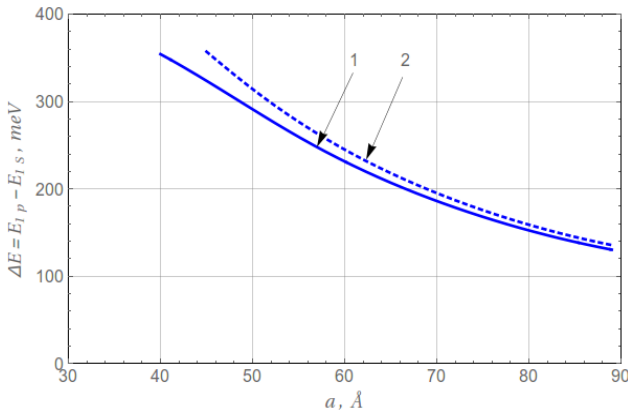


Fig. 2. The transition energy with deformation effects (curve 1) and without deformation effects curve (2) as a function of the QD radius

As can be seen from the figures 1, 2, taking into account the deformation effects leads to a decrease in the transition energy compared to the case of their neglect. The results obtained will be used in the determination of surface Tamm states.

III. SURFACE TAMM STATES IN THE STRAINED QD

We have been build the QD model ($a \geq 5a_0$) as a crystal whose atoms are spaced apart at distance a_0 . In the region near the atom, we suppose that there is a potential barrier for the electron with height U_1 and with width b (figure 3). On the surface, the QD is bounded by a matrix that separates the QD by the barrier U_0 (see (2.3)).

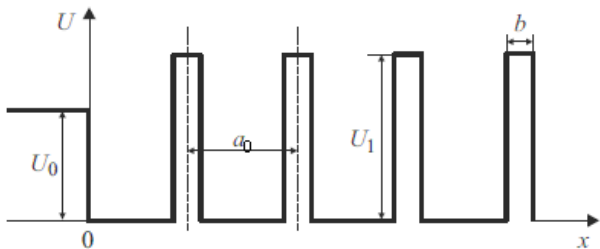


Fig. 3. The crystal energy and surface within the Tamm-Kronig-Penney model

The described model is well known as the Tamm-Kronig-Penney model. According to the basic Tamm model [13], the equation for determining surface energy has the form:

$$\xi \operatorname{ctg} \xi = \frac{q^2}{2p^2} - q \sqrt{1 - \frac{\xi^2}{q^2}}, \quad (3.1)$$

where

$$\xi = a_0 \sqrt{\frac{2m_0}{\hbar^2} E}, \quad q = a_0 \sqrt{\frac{2m_0}{\hbar^2} U_0}, \quad p = a_0 b \frac{m_0 U_1}{\hbar^2},$$

m_0 is free-electron mass, a_0 is lattice constant.

According to the Kronig-Penney model, the system of equations for determining the allowed values of energies (in the notation [14]) has the form

$$\begin{cases} \left| \cos \left(ka_0 - \operatorname{arctg} \left(\frac{\Omega a_0}{ka_0} \right) \right) \right| \leq \frac{1}{\sqrt{1 + \left(\frac{\Omega a_0}{ka_0} \right)^2}}, \\ E = \frac{\hbar^2}{2m_0 a_0^2} (ka_0)^2, \end{cases} \quad (3.2)$$

where Ωa_0 characterizes the dimensionless permeability of barriers. In the case of small energies $(\Omega a_0) / ka_0 \gg 1$ the (3.2) is reduced to

$$\begin{cases} \left| \sin(ka_0) \right| \leq \left(\frac{ka_0}{\Omega a_0} \right), \\ E = \frac{\hbar^2}{2m_0 a_0^2} (ka_0)^2. \end{cases} \quad (3.3)$$

Let us to consider further that the energy is small and expand it into a series, and limit to the first two nonzero additives. We got

$$\begin{cases} \left| ka_0 - \frac{(ka_0)^3}{6} \right| \leq \left(\frac{ka_0}{\Omega a_0} \right), \\ E = \frac{\hbar^2}{2m_0 a_0^2} (ka_0)^2. \end{cases} \quad (3.4)$$

Substitute the first two solution for the product ka_0 into the second expression (3.4) and find two energy values as functions of the barrier permeability Ωa_0

$$E_1 = 0, \quad E_2 = \frac{\hbar^2}{2m_0 a_0^2} 6 \left(1 - \frac{1}{\Omega a} \right)^2. \quad (3.5)$$

The width of the first forbidden zone (first band gap) in the Kronig-Penney model is

$$E_{K-P}^{gap} = E_2 - E_1. \quad (3.6)$$

Let us reconcile the Kronig-Penney and Tama models with the condition $\Omega a = p$ [13, 14] and express the parameter p through the band gap E_{K-P}^{gap}

$$\frac{1}{\Omega a_0} \equiv \frac{1}{p} = 1 - a_0 \sqrt{\frac{2m_0}{\hbar^2} \frac{E_{K-P}^{gap}}{6}}. \quad (3.7)$$

In the deformed QD, the parameter of the crystal lattice on its surface are the function of the QD radius

$$a_0^{def}(a) = a_0 \left(1 - \left| \varepsilon^{(1)}(a) \right| \right), \quad (3.8)$$

$\varepsilon^{(1)} = \text{Sp} \varepsilon^{(i)}$, $\varepsilon^{(i)}$ is deformation tensor in the QD. We consider the uniform deformation of compression of the QD. Therefore angles between edges of the crystal lattice are not changed. Therefore, in formulas (3.1) - (3.7) it is necessary to replace $a_0 \rightarrow a_0^{def}$ (3.8).

In the QD model, the first band gap in the potential well is the distance from the bottom of the potential well to the energy level E_{1s} (electron-hole interaction is not accounted). Therefore, we will consider this distance as E_{K-P}^{gap} , that is $E_{K-P}^{gap} = E_{1s}$. Then the expression for parameter p (3.7) is substituted into (3.1) and account that $E_{K-P}^{gap} = E_{1s}$. From here we find the energy of the surface Tamm level.

Figure 4 shows the results of numerical calculations of the energies of the ground (curves 1', 1) and the first excited (curves 2', 2) states of the electron and the surface energy of the Tamm level (curves 3', 3) in the stressed QD of the InAs/GaAs nanoheterosystem, parameters which is the same as in [5].

It can be seen from the graphical dependence of the energy, the decrease in the size of the QD leads to a monotonous increase of the energy of the ground and first excited states, both with and without electron-deformation interaction. In particular, at the QD radius $a = 30$ Å, the difference between the ground state energy levels with and without electron-deformation interaction is 50 meV.

As can be seen from figure 4, the energy of the surface state increases with decreasing the QD size. In particular, the energy of the surface Tamm level, taking into account the electron-deforma-

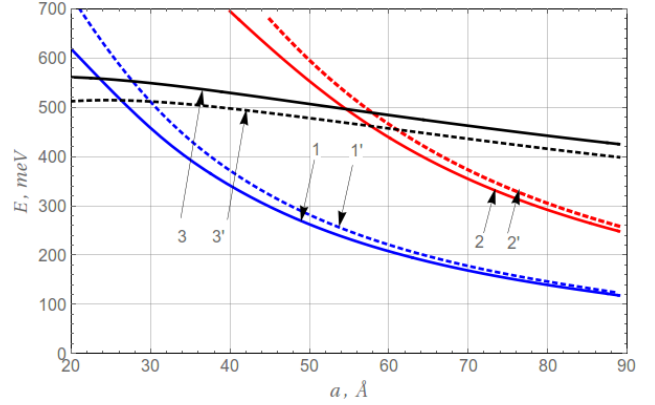


Fig. 4. The energy of the ground (curves 1,1') and first excited (curves 2, 2') states of the electron, taking into account the electron-deformation interaction (curves 1, 2) and without it (curves 1', 2'), as a function of the QD radius. Curves 3, 3' denote the energy of the Tamm surface level with and without electron-deformation interaction, respectively

tion interaction, is greater than the corresponding energy without considering it. This is due to the compression of the QD material (3.8), which leads to an increase in the degree of overlap of the electronic wave functions of the individual atoms on the QD surface. As a result, the Coulomb repulsion energy $V_c \sim \frac{1}{|\vec{r}| - |\vec{u}^{(1)}|}$ increases. \vec{u} is explicit forms of atom displacements. It can be defined from the equations of balance, like in [3-5].

$$\vec{\nabla} \text{div} \vec{u} = 0. \quad (3.9)$$

In case of spherical QDs, the solution of (3.9) looks like

$$u_r = \begin{cases} u_r^{(1)}, & r \leq a, \\ u_r^{(2)}, & a < r \leq R_1 \end{cases} = \begin{cases} C_1 r, & r \leq a, \\ C_2 r + \frac{C_3}{r}, & a < r \leq R_1, \end{cases} \quad (3.10)$$

where R_1 is the radius of the matrix. Coefficients C_i were defined in [3-5] from the boundary condition for displacements and mechanical stresses.

Thus, for smaller QD sizes $a < 20$ Å, the main role in filling in the electronic levels belongs to surface states. Due to this, the photoluminescence curve has an additional peak appeared in the long arbitrary region of the visible optical spectrum [6].

References

- [1] Quantum dot heterostructures: Fabrication, properties, lasers (Review) / N. N. Ledentsov, V. M. Ustinov, V. A. Shchukin, P. S. Kop'ev, Zh. I. Alferov, D. Bimberg // *Semiconductors* – 1998. - Vol. 32. - P. 343-365.
- [2] Excited states in self-organized InAs/GaAs quantum dots: Theory and experiment / M. Grundmann, N. N. Ledentsov, O. Stier, and D. Bimberg // *Applied Physics Letters*. - 1995. - Vol. 68, No 7. - P. 979.
- [3] Dan'kiv O. O. Strain-renormalized energy spectra of electrons and holes in InAs quantum dots in the InAs/GaAs heterosystem / O. O. Dan'kiv, R. M. Peleshchak // *Technical Physics Letters*. - 2005. - Vol. 31, No 8. - P. 691–694.
- [4] Dan'kiv O. O. Influence of impurity on electronic transition in coherent-strained quantum dot / O. O. Dan'kiv, R. M. Peleshchak // *Functional Materials*. - 2006. - Vol. 13, No 1. - P. 14-20.
- [5] Baric properties of InAs quantum dots / B. V. Novikov, G. G. Zegrya, R. M. Peleshchak, O. O. Dan'kiv, V. A. Gaisin, V. G. Talalaev, I. V. Shtrom, G. E. Cirlin // *Semiconductors*. - 2008. - Vol. 42, No 9. - P. 1076-1083.
- [6] Light-Emitting Properties of A_2B_6 Semiconductor Quantum Dots / D. V. Korbutyak, O. V. Kovalenko, S. I. Budzulyak, S. M. Kalytchuk, I. M. Kupchak // *Ukr. J. Phys. Reviews*. – 2012. – Vol.7, №1. – P. 48-95.
- [7] Hässelbarth A. Detection of shallow electron traps in quantum sized CdS by fluorescence quenching experiments / A. Hässelbarth, A. Ey-chmüller, H. Weller // *Chemical Physics Letters*. – 1993. – V.203, No2-3. – P. 271-276.
- [8] Optical Properties and Characteristics of Structural Defect in the NanoCrystals of CdS:Cu and CdS:Zn Synthesized in Polymeric Matrices / D. V. Korbutyak, S. V. Tokarev, S. I. Budzulyak, A. O. Kuryk, V. P. Kladko, Yu. O. Polishchuk, O. M. Shevchuk, H. A. Ilchuk, V. S. Tokarev // *Physics and Chemistry of Solid State*. – 2013. – Vol. 14, № 1. – P. 222-227.
- [9] Boichuk V. I. The Effect of Shallow Impurities on the Light Absorption by the Nanocrystals CdS / V. I. Boichuk, R. Ya. Leshko, D. S. Karpyn // *Ukr. J. Phys.* – 2018. - Vol 63, No 12. – P. 1088-1094.
- [10] Boichuk V. I. Analysis of the effect of polarization traps and shallow impurities on the interlevel light absorption of quantum dots / V. I. Boichuk, R. Ya. Leshko, D. S. Karpyn // *Condensed Matter Physics*. - 2017. - Vol. 20, No 4. - P. 43704: 1–8.
- [11] Boichuk V. I. Surface states in the spherical nanocrystals CdSe, CdTe / V. I. Boichuk, R. Ya. Leshko, D. S. Karpyn // *Sensor Electronics and Microsystem Technologies 2018 – T. 15, № 1*. – P. 5-16.
- [12] Oksengendler B. L. Role of electron confinement in the formation of Tamm surface levels in nanoparticles / B. L. Oksengendler, B. Askarov & V. N. Nikiforov // *Technical Physics*. – 2014 - Vol. 84, № 10. – P. 156-158.
- [13] I. E. Tamm. Collection of scientific papers. Moskov, Nauka, 1975. Vol. 1, 440 p (in Russian).
- [14] Z. Flygge. Problems in quantum mechanics. Transl. from English / Editor A.A. Sokolova, Vol. 1. Moskov, Mir, 1974, 343 p (in Russian).

Стаття надійшла до редакції 21.06.2020 р.

INFLUENCE OF THE QUANTUM DOT MATERIAL DEFORMATION ON TAMM SURFACE LEVELS

R. M. Peleshchak, R. Ya. Leshko, D. S. Karpyn

Physics Department, Ivan Franko Drohobych State Pedagogical University
Stryiska Str., 3, Drohobych, Lviv Region, 82100
leshkoroman@gmail.com

Summary

The change of Tamm surface states in the InAs quantum dots of the InAs/GaAs heterosystem due to the interaction of quasiparticles (electrons) with the elastic deformation of the crystal lattice on the surface of the quantum dot has been studied. The dependence of the energies of the electron Tamm levels is established both taking into account the deformation of the crystal lattice and without it. To do this, on the one hand, a model of the strained quantum dot as a semi-finite chain of atoms (Kronig-Penny-Tamm model) is constructed, taking into account the change in the lattice parameter due to deformation, which depends on the quantum dot size. On the other hand, the quantum dot is described in the framework of the effective mass theory, the model of the elastic medium and the model of the rectangular potential barrier, which defines the limiting potential for the electron. The models are matched by equating the energy distances between the first allowed levels in both models.

It is shown that due to the electron-deformation interaction, the electron energy of the Tamm surface levels increases for the quantum dot, while the electron energy decreases in the quantum dot volume. The reason for the increase in the energy of the Tamm surface levels for the InAs quantum dot of the InAs / GaAs heterosystem is the decrease in the distance between the atoms due to deformation. And the decrease in the energy of an electron in the volume of a quantum dot is explained by a change in the effective depth of potential wells due to the deformation of the quantum dot. It is established that the energy of the surface Tamm level, taking into account the deformation, increases with decreasing quantum dot size. This is consistent with the data of other works, which do not take into account the electron-deformation interaction.

Keywords: electron-deformation interaction, quantum dot, surface states, strained nanoheterosystem.

PACS 73.22.-f, 73.21.La, 73.20.At

DOI <https://doi.org/10.18524/1815-7459.2020.3.205924>

ВПЛИВ ДЕФОРМАЦІЇ МАТЕРІАЛУ КВАНТОВОЇ ТОЧКИ НА ПОВЕРХНЕВІ РІВНІ ТАММА

Р. М. Пелещак, Р. Я. Лешко, Д. С. Карпин

Кафедра фізики, Дрогобицький державний педагогічний університет імені Івана Франка
вул. Стрийська, 3, Дрогобич, Львівська обл, 82100
leshkoroman@gmail.com

Реферат

У роботі досліджено зміну поверхневих станів Тамма у квантових точках InAs гетеросистеми InAs/GaAs внаслідок взаємодії квазічастинок (електронів) з пружною деформацією кристалічної ґратки на поверхні квантової точки. Встановлено залежність енергій рівнів Тамма для електрона як з урахуванням деформації кристалічної ґратки, так і без неї. Для цього з одного боку побудовано модель напруженої квантової точки як напівскінченного ланцюжка атомів (модель Кроніґа-Пені-Тамма) з урахуванням зміни параметра ґратки внаслідок деформації, яка у свою чергу залежить від розміру квантової точки. З іншого боку квантову точку описано у рамках теорії ефективної маси, моделі пружного середовища та моделі прямокутного потенціального бар'єру, що задає потенціал обмеження для електрона. Моделі узгоджено шляхом прирівняння енергетичних відстаней між першими дозволеними рівнями в обох моделях.

Показано, що внаслідок електрон-деформаційної взаємодії енергія електрона поверхневих рівнів Тамма у квантовій точці зростає, тоді як у об'ємі квантової точки енергія електрона зменшується. Причиною зростання енергії поверхневих рівнів Тамма у квантовій точці InAs гетеросистеми InAs/GaAs є зменшення відстані між атомами внаслідок деформації. А зменшення енергії електрона в об'ємі квантовій точці зумовлено зміною ефективної глибини потенціальних ям внаслідок деформації квантової точки. Встановлено, що енергія поверхневого рівня Тамма з урахуванням деформації зростає при зменшенні розмірів квантової точки. Це узгоджується з даними інших робіт, в яких не враховано електрон-деформаційну взаємодію.

Ключові слова: електрон-деформаційна взаємодія, квантова точка, поверхневі стани, напружена наногетеросистема.

OPTICAL AND OPTOELECTRONIC AND RADIATION SENSORS

ОПТИЧНІ, ОПТОЕЛЕКТРОННІ І РАДІАЦІЙНІ СЕНСОРИ

УДК 621.396.967

DOI <https://doi.org/10.18524/1815-7459.2020.3.212947>

ОПТОЕЛЕКТРОННИЙ РАДАР ДЛЯ ВИЗНАЧЕННЯ ПАРАМЕТРІВ РУХУ ШВИДКІСНИХ ОБ'ЄКТІВ

Я. І. Лепіх, В. І. Сантоній, В. В. Янко, Л. М. Будіянська, І. О. Іванченко

Міжвідомчий науково-навчальний фізико-технічний центр МОН і НАН України при
Одеському національному університеті імені І.І. Мечникова,
e-mail: ndl_lepikh@onu.edu.ua

ОПТОЕЛЕКТРОННИЙ РАДАР ДЛЯ ВИЗНАЧЕННЯ ПАРАМЕТРІВ РУХУ ШВИДКІСНИХ ОБ'ЄКТІВ

Я. І. Лепіх, В. І. Сантоній, В. В. Янко, Л. М. Будіянська, І. О. Іванченко

Анотація. В даній роботі розв'язується проблема підвищення точності безконтактних вимірювань параметрів руху швидкісних об'єктів розробкою лазерного радара (ЛР) на основі спеціального лазерного датчика і оптимального алгоритму дистанційного високоточного визначення динамічних характеристик швидкісних об'єктів.

Ключові слова: лазерний радар, фазо-імпульсний метод, швидкісний об'єкт, параметри руху.

OPTOELECTRONIC RADAR FOR THE HIGH-SPEED OBJECTS MOVEMENT PARAMETER DETERMINATION

Ya. I. Lepikh, V. I. Santoniy, V. V. Yanko, L. M. Budianskaya, I. O. Ivanchenko

Abstract. This paper solves the problem of increasing the accuracy of non-contact measurements of the high-speed objects motion parameters by developing laser radar (LR) based on a special laser sensor and the optimal algorithm for remote high-precision determination the high-speed objects dynamic characteristics.

Keywords: laser radar, phase-pulse method, high-speed object, motion parameters.

ОПТОЭЛЕКТРОННЫЙ РАДАР ДЛЯ ОПРЕДЕЛЕНИЯ ПАРАМЕТРОВ ДВИЖЕНИЯ СКОРОСТНЫХ ОБЪЕКТОВ

Я. И. Лепих, В. И. Сантоний, В. В. Янко, Л. М. Будиянская, И. О. Иванченко

Аннотация. В данной работе решается проблема повышения точности бесконтактных измерений параметров движения скоростных объектов разработкой лазерного радара (ЛР) на основе специального лазерного датчика и оптимального алгоритма дистанционного высокоточного определения динамических характеристик скоростных объектов.

Ключевые слова: лазерный радар, фазо-импульсный метод, скоростной объект, параметры движения.

Вступ

Підвищення точності безконтактних вимірювань параметрів руху швидкісних об'єктів є актуальною проблемою сучасної оптичної локації.

Проблема суттєво ускладнюється коли необхідно визначити координати і параметри руху високо швидкісних об'єктів на малих відстанях в умовах жорсткого дефіциту часу обробки сигналів в умовах зовнішніх завад різного типу.

В даній роботі проблема розв'язується розробкою лазерного радара (ЛР) на основі спеціального лазерного датчика і оптимального алгоритму дистанційного високоточного визначення динамічних характеристик швидкісних об'єктів [1-2].

Основна частина

Створено ЛР з високим просторовим дозволом, в якому застосовано сучасну елементну базу.

До складу ЛР входить імпульсний лазерний випромінювач, здатний формувати в інфрачервоному діапазоні світлові імпульси малої тривалості (1-10) нс. Для високоточної роботи ЛР в швидкісному режимі необхідно забезпечити ідентичний імпульсний струм на нелінійному навантаженні, в якості якого використано лазерний діод [3-4]. У генераторі накачування лазерного випромінювача застосовано принцип лавинного пробою. До складу апаратної реалізації генератора увійшли наступні функціональні вузли: підвищувач напруги з п'яти

вольт до ста двадцяти вольт, формувачі синхроімпульсу, ключовий каскад, який за фронтом синхросигналу виробляє потужний наносекундний імпульс струму. При цьому, реалізація схеми накачування напівпровідникового лазерного випромінювача дозволяє сформувати потужний імпульс струмом до ~ 40 А на навантаженні 1,5-2 Ом.

Для забезпечення прийому оптичних імпульсів наносекундної тривалості розроблено схемні рішення з використанням швидкодіючих лавинних фотодіодів. Підсилення амплітуди сигналу фотовідповіді від поверхні об'єкта забезпечено імпульсним підсилювачем. Імпульсні сигнали тривалістю від 1 нс до 15 нс підсилюються за амплітудою, а імпульси поза наведеним діапазоном придушуються амплітудою у співвідношенні 15 дБ на октаву.

Сформована діаграма спрямованості оптичної системи ЛР з можливістю її корекції у просторі. Для формування заданої зони виявлення об'єкта у фокальній площині передавального та приймального об'єктивів ЛР розміщено оптоволоконні світловоди з площинкою необхідної форми і розмірів. Використання світловодів дозволяє одержати підвищення імпульсної світлової потужності за рахунок об'єднання випромінювання з декількох лазерних діодів.

У передавальному об'єктиві ЛР замість одного монолітного оптичного елемента застосовані два роздільних: фокусуюча двоопукла сферична лінза і коса призма, яка змінює напрям поширення зондуємого випромінювання. Зображення 3D моделі оптичних елементів наведені на рисунку 1. На ньому показано вза-

емне розташування всіх оптичних елементів приймального і передавального об'єктивів, а також хід променів усередині оптичних елементів і в повітрі.

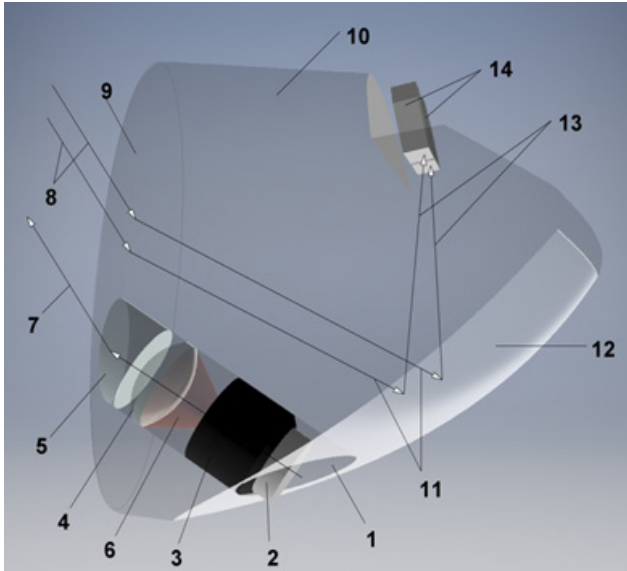


Рис. 1. Структурна схема взаємного розташування оптичних елементів приймального і передавального об'єктивів. → хід променів.

1 - канал для розміщення оптичного елемента передавального об'єктива;

2 - вихідний з'єднувач, що передає випромінювання з оптоволоконного кабелю;

3 - гільза, що фокусує;

4 - двояко опукла сферична лінза;

5 - косої призми;

6 - діаграма поширення променів з майданчика оптоволоконного кабелю;

7 - напрям поширення зондування випромінювання;

8 - проміння, що відбито від поверхні об'єкта;

9 - вхідна циліндрична поверхня приймального оптичного елемента;

10 - тіло приймального оптичного елемента;

11 - траєкторії переломлених променів, які перетинають вхідну поверхню приймального оптичного елемента;

12 - торопараболічне дзеркало;

13 - сфокусовані промені, відбиті від поверхні;

14 - елементи двох вхідних зіниць приймальних оптоволоконних кабелів

На рисунку 2 наведені оптичні елементи передавального об'єктива в площині паралельній його оптичній осі. Рисунок 3 дає уявлення про співвідношення розмірів майданчика оптичних волокон оптиковолоконного кабелю, зображе-

ного у вигляді білої риски, котра фокусує двоопуклу лінзу і змінює напрям випромінювання косої призми.

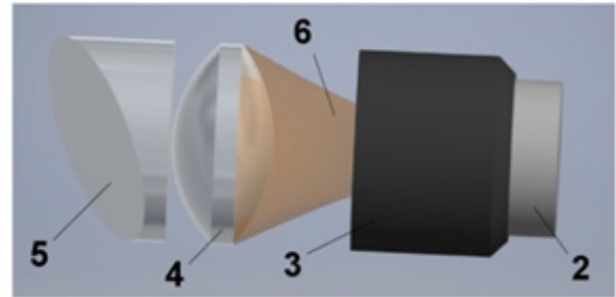


Рис. 2. Оптичні елементи передавального об'єктива

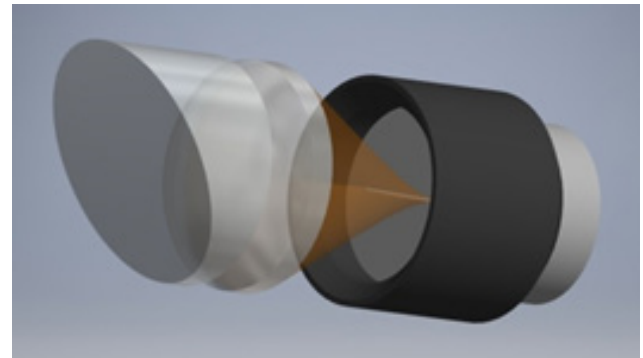


Рис. 3. Майданчики оптичних волокон оптиковолоконного кабелю

Поширення випромінювання в приймально-передавальному об'єктиві відбувається в такій послідовності. Випромінювання двох лазерних діодів з блоку управління поступає на вихідний роз'єм передавального оптоволоконного кабелю 2, який закріплений в фокусі гільзи 3. За допомогою двоопуклої сферичної лінзи 4 випромінювання фокусується. Сфокусований пучок променів на поверхні косої призми 5 заломлюється і направляється в бік поверхні об'єкта. Відбиті від ділянки поверхні об'єкта промені 8 потрапляють на циліндричну поверхню 9 приймального оптичного елемента. Переломлене на границі повітря і скла випромінювання 11 під тим же кутом, що і падаюче випромінюване, потрапляє на поверхню торопараболічного увігнутого дзеркала 12. Відбившись від поверхні увігнутого дзеркала, прийняте сфокусоване випромінювання 13 на-

правляється усередину волокон двох вхідних з'єднань прийомних оптоволоконних кабелів 14. Далі (по двом прийомним оптоволоконним кабелям) випромінювання надходить на фотоприймачі, розташовані в прийомних модулях.

Вимірювання шумових характеристик фотоприймального пристрою проводилося за допомогою цифрового осцилографа GDS840С з пропускною здатністю 250 МГц. Ширина шумової доріжки на виході фотоприймача при зміні глибини негативного зворотного зв'язку характеризувалася значеннями в інтервалі від 1,3 до 2,5 мВ.

На основі проведених досліджень розроблено удосконалений фазо-імпульсний метод виміру параметрів відбитого лазерного випромінювання фотоприймачем в режимі прямого фотодетектування.

Структурно-функціональна схема ЛВ наведена на рис. 4.

Алгоритм роботи схеми наступний.

Сигнал тактової частоти із задаючого генератора ЗГ поступає на транзисторний лавинний ключ ТЛК. ТЛК по фронту тактового імпульсу, що прийшов, формує імпульс струму через лазерний діод ЛД амплітудою 40А і три-

валістю 5 нс. Світловий імпульс з лазерного діода за допомогою оптичної системи ОП фокусується і спрямовується паралельно осі корпусу ЛВ у бік поверхні завади. Частина енергії відбитого від поверхні завади світлового імпульсу за допомогою приймального об'єктиву ОП збирається і фокусується на майданчику фотоприймача ФП. Електричний імпульс фотовідповіді з виходу фотоприймача поступає на вхід імпульсного підсилювача ІП. На інший вхід ІП подається сигнал з виходу формувача вимірювального інтервалу ФВІ. ФВІ формує вимірювальний імпульс тривалістю 14,3 нс з фронтом, співпадаючим з фронтом імпульсу тактової частоти. При збігу за часом імпульсу фотовідповіді і сформованого ФВІ вимірювального імпульсу на виході ІП формується імпульсний сигнал, що свідчить про появу поверхні завади на шуканій відстані. Далі сигнал поступає на формувач вихідного імпульсу ФВІ де обробляється по заданому алгоритму.

Метод оптико-електронного дальнометрування на базі компенсації фазового зсуву базується на тому, що автоматична система, охоплена петлею негативного зворотного зв'язку, компенсує набіг фази, котрий одержує

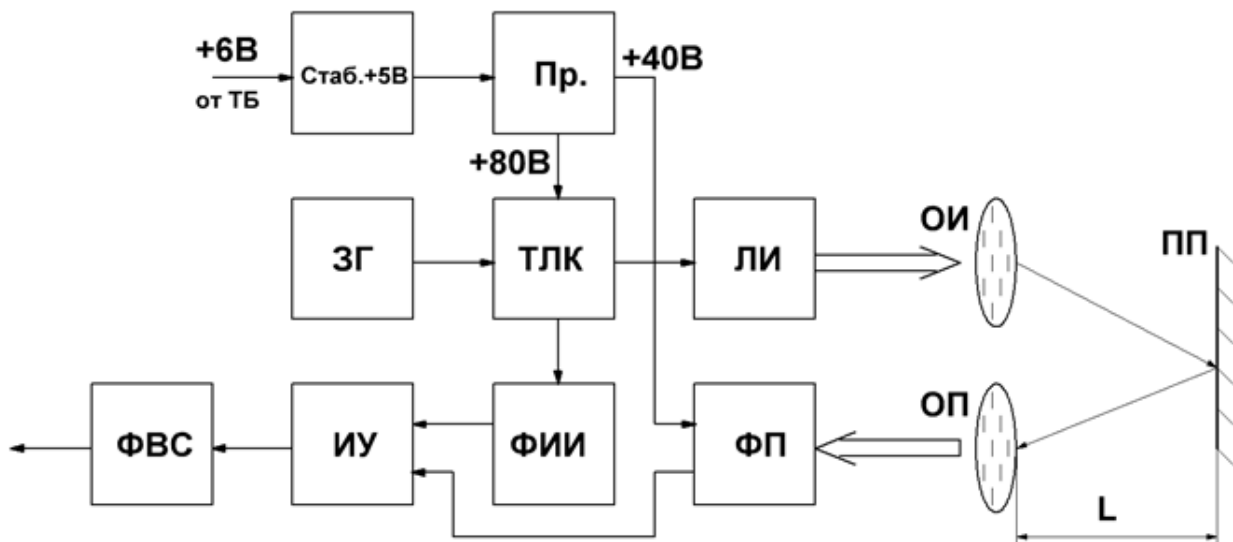


Рис. 4. Структурно-функціональна схема ЛВ.

ЛВ - лазерний випромінювач; ОІ – оптична система лазерного випромінювача;

ФП - фотоприймач; ОФ - оптична система фотоприймача; ПП - поверхня завади;

L - дистанція спрацювання ОДП; ТЛК – транзисторний лавинний ключ;

ЗГ - задаючий генератор; Стаб.+5В - стабілізатор живлення ОДП; Пр. - формувач напруги +40В та +80В; ІП - імпульсний підсилювач; ФІІ – формувач вимірювального часового інтервалу; ФВС - формувач вихідного сигналу

стимулюючий синусоїдальний сигнал у наслідку прольоту оптичним променем подвійної дальності.

Розроблено новий метод обробки прийнятого сигналу, що дозволяє провести високоточне дистанційне визначення параметрів руху швидкісних об'єктів методом лазерної локації. Удосконалення методу локації досягнуто за рахунок підвищення оптимальності структурно-функціонального ділення між елементами оптоелектронних лазерних систем.

Експериментально показано, що міжканальний фазовий зсув в різних режимах роботи при час-просторовій обробці сигналів не дозволяє повністю понизити завади, що діють на бічні пелюстки діаграми спрямованості антени.

При захисті ЛР використання просторових відмінностей між корисним сигналом і завадою реалізується шляхом рознесеного прийому. У разі, коли обробка сигналів в пристрої фільтрації є пачковою, необхідно оцінити обмеження в придушенні завад.

ЛР випромінює незгасаючі пачки лазерних імпульсів. З огляду на це випромінювання відбивається від навколишніх об'єктів, він отримує можливість значно більш точно визначати відстань до об'єкта, одночасно обчислюючи його швидкість. Відбите випромінювання від незатухаючих пачок лазерних імпульсів дає можливість ЛР працювати в несприятливих погодних умовах.

На засаді проведеного комп'ютерного моделювання отримані закономірності розробленого удосконаленого методу дальнометрування, в якому застосовано модуляцію параметрів світлового сигналу, що дозволяє проводити високоточне визначення параметрів руху швидкісних об'єктів.

На основі результатів моделювання перетину діаграм спрямованості розроблена конструкція приймально-передавального об'єктива ЛР. Розташування приймальних модулів приймально-передавального об'єктива показано на рисунку 5.

Датчик виявляє об'єкт в умовах відсутності видимості, наприклад, крізь такі завади як штучні дими і туман, йому не заважають завади, які створюють світловідбиваючі об'єкти [6]. ЛР здатний виявляти дрібні об'єкти на від-

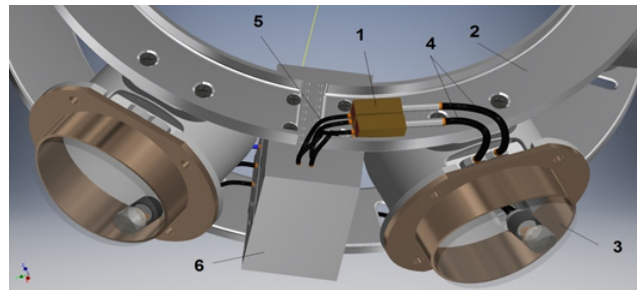


Рис.5. Приймально-передавальний об'єктив ЛР

- 1 - приймальний модуль;
- 2 - верхній елемент кріплення;
- 3 - приймально-передавальний об'єктив;
- 4 - приймальні оптоволоконні кабелі одного каналу ЛР;
- 5 - вхідні екрановані електричні кабелі

станнях до 15 м і його випромінювання може проникати крізь сніг і туман.

Його габарити не перевищують 10x10x5см. ЛР можна підключити до будь-якої системи за допомогою інтерфейсів USB. За допомогою спеціалізованого процесора ЛР може стежити за рухомими об'єктами, вимірюючи їх швидкість і відстань до них [7, 8].

Діаграма спрямованості датчика забезпечує покриття його наглядом достатньо великі площі. Основною областю застосування є установка таких датчиків на вертольоти рятувальних і аварійних служб, які змушені здійснювати посадку в умовах темряви і в поганих погодних умовах, що обмежують отримання візуальної інформації про характер навколишньої місцевості, та інших системах, призначених для точного вимірювання координат і параметрів руху швидкісних об'єктів.

Висновки

Малогабаритний високоточний ЛР може бути використаний як у спеціальній техніці, так і в деяких суто цивільних областях. Він може бути також використаний для широкого застосування в складі систем забезпечення безпеки, в медицині, на транспорті і в інших галузях промисловості і господарства. Особливо в областях, де мають місце несприятливі умови, що унеможливають використання інших пристроїв.

Список використаної літератури

- [1]. Ya. I. Lepikh, V. I. Santonii, V. V. Yanko, L. M. Budiianska, I. O. Ivanchenko. Priamovidlikovy fazovyi metod vymiriuvannya malykh dystantsii optyko-elektronnym sensorom u dynamichnykh umovakh // Sens. elektron. i mikrosyst. tekhnol. 2015-T. 12, No 4, S. 37-43 (in Ukrainian).
- [2]. Patent Ukrainy na vynakhid No 110140, zaiavka No a 201402716, publ. 25. 09. 2015 “Lazernyi rivnemirnyi prystrii” Smyntyna V. A., Lepikh Ya. I., Santonii V. I., Ivanchenko I. O., Budiianska L. M. Opubl. Biul. No 22/2015 vid 25.11.2015 (in Ukrainian).
- [3]. Patent Ukrainy na korysnu model No106203 G01N 21/47, 21/55, publ. 25.04.2016, Biul. No8/2016 “Metod vyivlennia infrachervonoho vyprominiuvannya” Ivanchenko I. O., Budiianska L. M., Smyntyna V. A., Santonii V. I. (in Ukrainian).
- [4]. Lepikh Ya. I., Santonii V. I., Yanko V. V., Budiianska L. M., Ivanchenko I. O. Rozrobka kompiuternykh modelei elementiv optyko-elektronnogo sensora korotkykh tras // Tezy dopovidei 7-oi Mizhnar. n. -tekhn. konf. “Sensorna elektronika ta mikrosystemni tekhnologii (SEMST-7)”, 30 travnia – 3 chervnia 2016 r., Odesa, Ukraina, S. 145. (in Ukrainian).
- [5]. Lepikh Ya. I., Santonii V. I., Budiianska L. M., Yanko V. V. Metodyka doslidzhennia zavadovoi sytuatsii v optychnomu diapazoni na korotkykh trasakh // Tam zhe, S. 163. (in Ukrainian).
- [6]. Lepikh Ya. I., Santonii V. I., Yanko V. V., Budiianska L. M., Ivanchenko I. O. Udoskonalenyi metod vysokotochnoho optyko-elektronnogo dalnometruvannya korotkykh tras // Tam zhe, S. 178.
- [7]. Santonii V. I., Ivanchenko I. O., Budiianska L. M. Metod imitatsii shvydkisnogo rivnomirnoho rukhu optyko-lokatsiinykh prystroiv // Patent na korysnu model No122768 vid 25.01.2018, Biul. No2/2018 (in Ukrainian).
- [8]. V. Santoniy, I. Ivanchenko, L. Budiyanskaya. Method of imitation of the motion of optical-location device // Tezy dopovidei III Vseukrainska naukovo-praktychna konferentsiia «Perspektyvni napriamky suchasnoi elektroniky, informatsiinykh i kompiuternykh system» (MEICS 2018) Sektsiia V. Fizychni yavlyshcha v materialakh elektronnoi tekhniky ta tekhnologii yikh otrymanna, m. Dnipro, 21-23 lystopada 2018 r., S. 190-191. (in Ukrainian).

Стаття надійшла до редакції 22.08.2020 р.

UDC 621.396.967

DOI <https://doi.org/10.18524/1815-7459.2020.3.212947>

OPTOELECTRONIC RADAR FOR THE HIGH-SPEED OBJECTS MOVEMENT PARAMETER DETERMINATION

Ya. I. Lepikh, V. I. Santoniy, V. V. Yanko, L. M. Budianskaya, I. O. Ivanchenko

Interdepartmental scientific-educational physical and technical center of the Ministry of Education and Science and the National Academy of Sciences of Ukraine at the Odesa

I. I. Mechnikov National University, ndl_lepikh@onu.edu.ua

Summary

This paper solves the problem of increasing the accuracy of non-contact measurements of the high-speed objects motion parameters by developing laser radar (LR) based on a special laser sensor and the optimal algorithm for remote high-precision determination the high-speed objects dynamic characteristics.

The improved phase-pulse method for the reflected laser radiation parameter measuring by a photodetector in the mode of direct photodetection has been developed. A new method of the received signal processing has been developed, which allows carrying out high-precision remote determination of the fast objects motion parameters by the method of laser location.

The improvement of the location method is achieved by increasing the optimality of structural and functional division between the elements of optoelectronic laser systems.

On the basis of the performed computer simulation, the laws of the developed advanced method of long-range measurement are obtained, in which modulation of light signal parameters is applied, which allows to carry out high-precision determination of the high-speed objects motion parameters.

Keywords: laser radar, phase-pulse method, high-speed object, motion parameters.

УДК 621.396.967

DOI <https://doi.org/10.18524/1815-7459.2020.3.212947>

ОПТОЕЛЕКТРОННИЙ РАДАР ДЛЯ ВИЗНАЧЕННЯ ПАРАМЕТРІВ РУХУ ШВИДКІСНИХ ОБ'ЄКТІВ

Я. І. Лепіх, В. І. Сантоній, В. В. Янко, Л. М. Будіянська, І. О. Іванченко

Міжвідомчий науково-навчальний фізико-технічний центр МОН і НАН України при
Одеському національному університеті імені І.І. Мечникова,
e-mail: ndl_lepikh@onu.edu.ua

Реферат

В даній роботі розв'язується проблема підвищення точності безконтактних вимірювань параметрів руху швидкісних об'єктів розробкою лазерного радара (ЛР) на основі спеціального лазерного датчика і оптимального алгоритму дистанційного високоточного визначення динамічних характеристик швидкісних об'єктів.

Розроблено удосконалений фазо-імпульсний метод виміру параметрів відбитого лазерного випромінювання фотоприймачем в режимі прямого фотодетектування. Розроблено новий метод обробки прийнятого сигналу, що дозволяє провести високоточне дистанційне визначення параметрів руху швидкісних об'єктів методом лазерної локації.

Удосконалення методу локації досягнуто за рахунок підвищення оптимальності структурно-функціонального ділення між елементами оптоелектронних лазерних систем.

На засаді проведеного комп'ютерного моделювання отримані закономірності розробленого удосконаленого методу дальнометрування, в якому застосовано модуляцію параметрів світлового сигналу, що дозволяє проводити високоточне визначення параметрів руху швидкісних об'єктів.

Ключові слова: лазерний радар, фазо-імпульсний метод, швидкісний об'єкт, параметри руху.

УДК: 621.391

DOI <https://doi.org/10.18524/1815-7459.2020.3.212949>

ВИКОРИСТАННЯ ЧАСОВИХ ПАРАМЕТРІВ СЕЙСМОСИГНАЛІВ ДЛЯ РОЗПІЗНАВАННЯ РУХОМИХ ОБ'ЄКТІВ ВІДДАЛЕНИМИ СЕЙСМІЧНИМИ ПРИСТРОЯМИ

П. П. Фастиковський, О. В. Ткаченко, Я. І. Лепіх, М. А. Глауберман*

Навчально-науково-виробничий центр ОНУ імені І.І.Мечникова, вул. Маршала Говорова, 4,
м. Одеса, 65058, Україна, frp@te.net.ua, mik_ag@i.ua

* Міжвідомчий науково-навчальний фізико-технічний центр МОН і НАН України ОНУ імені
І. І. Мечникова, вул. Дворянська, 2, м. Одеса, 65082, Україна, ndl_lepikh@onu.edu.ua

ВИКОРИСТАННЯ ЧАСОВИХ ПАРАМЕТРІВ СЕЙСМОСИГНАЛІВ ДЛЯ РОЗПІЗНАВАННЯ РУХОМИХ ОБ'ЄКТІВ ВІДДАЛЕНИМИ СЕЙСМІЧНИМИ ПРИСТРОЯМИ

П. П. Фастиковський, О. В. Ткаченко, Я. І. Лепіх, М. А. Глауберман

Анотація. У статті на основі аналізу характеристик сейсмічних сигналів від людини та транспортних засобів, що рухаються, пропонується і обґрунтовується доцільність використання часових параметрів сейсмосигналів для розпізнавання рухомих об'єктів віддаленими автономними сейсмічними пристроями. Сформульовані прості та достатньо надійні методи розпізнавання рухомих об'єктів. Проведена апробація таких методів за допомогою розробленого автономного сейсмічного пристрою. Вказується на техніко-економічну ефективність запропонованих методів у порівнянні з відомими рішеннями на інших принципах.

Ключові слова: віддалений сейсмічний пристрій, особливості сейсмосигналів, людина і транспортні засоби, часові методи розпізнавання, апробація методів.

USE OF SEISMIC SIGNALS' TIME PARAMETERS FOR MOVING OBJECTS RECOGNITION BY REMOTE SEISMIC DEVICES

P. P. Fastikovsky, O. V. Tkachenko, Ya. I. Lepikh, M. A. Glauberman

Abstract. Based on the analysis of seismic signals' characteristics from a moving person and vehicles, the article proposes and substantiates the expediency of using the temporal parameters of seismic signals for moving objects recognition by remote autonomous seismic devices. Simple and sufficiently reliable methods for moving objects recognition have been formulated. The testing of such methods was carried out using the developed autonomous seismic device. The technical and economic efficiency of the proposed methods in comparison with known solutions based on other principles is pointed out.

Keywords: remote seismic device, seismic signals features, person and vehicles, temporal recognition methods, methods testing.

© П. П. Фастиковський, О. В. Ткаченко, Я. І. Лепіх*, М. А. Глауберман, 2020

ИСПОЛЬЗОВАНИЕ ВРЕМЕННЫХ ПАРАМЕТРОВ СЕЙСМОСИГНАЛОВ ДЛЯ РАСПОЗНАВАНИЯ ДВИЖУЩИХСЯ ОБЪЕКТОВ УДАЛЕННЫМИ СЕЙСМИЧЕСКИМИ УСТРОЙСТВАМИ

П. П. Фастыковский, О. В. Ткаченко, Я. И. Лепих, М. А. Глауберман

Аннотация. В статье на основе анализа характеристик сейсмических сигналов от движущихся человека и транспортных средств предлагается и обосновывается целесообразность использования временных параметров сейсмосигналов для распознавания движущихся объектов удаленными автономными сейсмическими устройствами. Сформулированы простые и достаточно надежные методы распознавания движущихся объектов. Проведена апробация таких методов с помощью разработанного автономного сейсмического устройства. Указывается на технико-экономическую эффективность предложенных методов по сравнению с известными решениями на других принципах.

Ключевые слова: удаленное сейсмическое устройство, особенности сейсмосигналов, человек и транспортное средство, временные методы распознавания, апробация методов.

ВСТУП

Сейсмичні засоби виявлення відносяться до засобів пасивного типу і внаслідок цього мають ряд переваг: скритність, низьке енергоспоживання, площадкова зона виявлення. При конструюванні віддалених автономних сейсмичних пристроїв (СП), які можуть бути швидко розгорнуті, зазвичай використовують точкові чутливі елементи. Такі пристрої мають у своєму складі: чутливі елементи генераторного типу (геофони або п'єзоелектричні перетворювачі), що перетворюють сейсмичні коливання ґрунту в електричний сигнал; блок обробки сейсмичних сигналів, що дозволяє здійснювати селекцію корисних сигналів від сейсмичного шуму і класифікацію за принципом «людина – техніка»; радіопередавальний блок, який здійснює передачу повідомлення про виявлення об'єкту в зоні дії СП до центру управління [1, 2]. Розробка і виготовлення таких СП має велике значення як для цілей охорони цивільних і військових об'єктів, так і для розвідувально-сигналізаційних цілей. В даний час найбільш перспективними СП для виявлення та розпізнавання рухомих об'єктів вважаються СП, які використовують спектральні та спектрально-часові методи обробки сейсмосигналу [3-8]. Це, в основному, пов'язано з їх високою (більш 0,92) вірогідністю коректного розпізнавання об'єктів. Але використання цих

методів призводить до значного збільшення інформаційних та енергетичних витрат, що вкрай небажано для віддалених автономних СП і систем на їх основі [9]. Наприклад, віддалений СП, як окремо функціонуючий, так і той, що входить до складу так званого Unattended Ground Sensor (UGS) [10], який автономно працює тривалий час у режимі виявлення порушників кордонів та ділянок певних територій, повинен мати мінімальне споживання енергії. У даній статті пропонується для розпізнавання рухомих об'єктів у таких випадках використовувати часові методи обробки сейсмосигналу, так як пристрої, що їх використовують, є енергоекономічними [9] і в той же час можуть володіти значною величиною вірогідності коректного розпізнавання рухомих об'єктів.

1. ОСОБЛИВОСТІ СЕЙСМОСИГНАЛІВ ВІД ЛЮДИНИ І ТРАНСПОРТНИХ ЗАСОБІВ, ЩО РУХАЮТЬСЯ

Експериментальні дослідження сейсмосигналів від різних рухомих об'єктів виконувалися за допомогою розробленого цифрового записуючого пристрою з частотою дискретизації сигналу 600 Гц. До його комплексу входив промисловий віброперетворювач ДН-3-М1, який монтувався на невеликій платформі з конусом для установки в ґрунт. За відсутності рухомого об'єкту на виході записуючого пристрою були

присутні випадкові сигнали, в основному, сейсмічні шуми. Ці шуми накладалися на сигнали, що виникають при русі об'єктів. Сейсмосигналам від людини, що рухається, притаманний періодичний біполярний імпульсний характер у вигляді пакетів, з наростанням обвідної послідовності імпульсів при проходженні людини в напрямку пристрою (рис.1). Тривалість

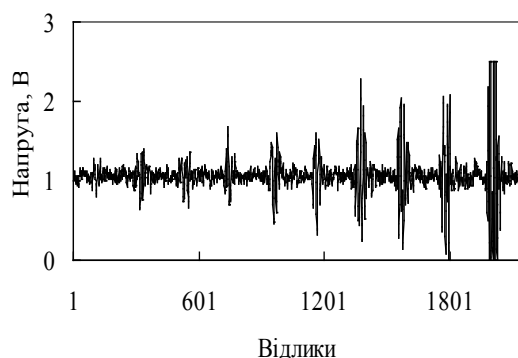


Рис. 1. Осцилограма сейсмічного сигналу від людини, яка йде до сейсмічного реєстратора

імпульсів залежить від багатьох параметрів навіть для одного типу ґрунту: якості контакту взуття з ґрунтом, відстані до людини, швидкості ходьби, маси людини і становить 100 мс...300 мс. Період проходження імпульсів (кроків людини) в залежності від швидкості руху людини становить 0.3 с...1,5 с. Для сигналів на відстані 15 м від людини, що рухається на степовому ґрунті, характерні спектри зі смугою частот приблизно від 3 до 100 Гц (рис. 2, крива звичайної товщини). Отримані ре-

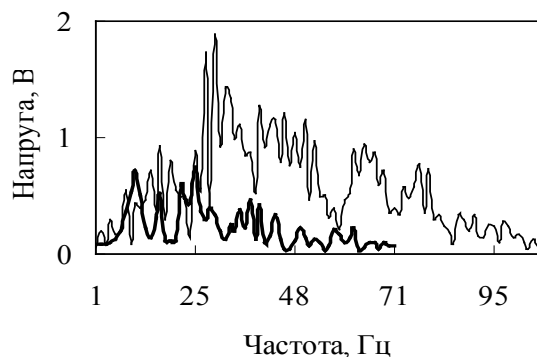


Рис. 2. Спектри сейсмосигналів від людини, що рухається, на відстанях від сейсмічного реєстратора: 15 м (крива звичайної товщини), 25 м (потовщена крива). Ґрунт степовий

зультати якісно узгоджуються з результатами, що отримали інші автори [11, 12]. Але у даній роботі ще додатково аналізувалися спектри сигналів на різних відстанях від людини. Було встановлено, що зі збільшенням цієї відстані верхня межа частотної смуги знижується (рис. 2, потовщена крива). Цей ефект пов'язаний з дією приповерхневого шару ґрунту, в якому поширюється поверхнева хвиля Релея від наземного джерела сейсмічних коливань і який грає роль фільтра низьких частот, тобто сильніше поглинає високі частоти [13, 14]. Потрібно також врахувати, що властивості ґрунту, як інформаційного каналу, залежать від природно - кліматичних факторів [15, 16]. У результаті не залишаються строго постійними ні ширина спектру, ні його структура навіть для одної відстані до рухомого об'єкту і того ж типу ґрунту.

Сейсмічні сигнали, що виникають при русі транспортного засобу, наприклад, колісного транспорту, характеризуються відсутністю яскраво вираженої періодичності (рис. 3).

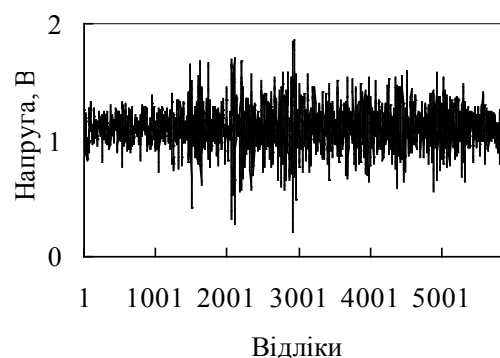


Рис. 3. Осцилограма сейсмічного сигналу від легкового автомобіля, що проїжджає повз реєстратора

Ці сигнали мають безперервний біполярний характер. Сигнал, що виникає в сейсмоперетворювачі при русі транспортного засобу, обумовлений контактом шин з ґрунтом і передачею ґрунту механічних вібрацій двигуна і трансмісії. Спектр сигналу визначається типом транспортного засобу, швидкістю його руху, відстанню до рухомого об'єкту, структури і стану ґрунту. При наближенні транспортного засобу обвідна сигналу зростає, а при видаленні зменшується (рис. 3). Спектри сейсмосиг-

налів при відстані 25 м до техніки (легковий автомобіль) на степовому ґрунті знаходяться в смузі частот від 3 до 60-70 Гц (рис. 4, крива звичайної товщини). При збільшенні відстані до 40 м верхня межа частотної смуги

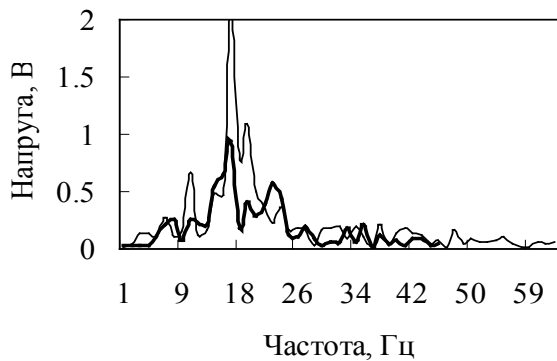


Рис. 4. Спектри сейсмосигналів від легкового автомобіля, що рухається, на відстанях від сейсмічного реєстратора: 25 м (крива звичайної товщини), 40 м (потовщена крива). Ґрунт степовий

з відмічених вище причин знижується (рис. 4, потовщена крива). Отримані спектральні діапазони характерні для прямої дії маси автомобіля через колеса на ґрунт [17]. Розширення спектрального діапазону до 100-150 Гц, яке спостерігалось на відстанях до 15 м, обумовлено передачею ґрунту механічних вібрацій двигуна і трансмісії [5, 6, 17].

2. РОЗПІЗНАВАННЯ СЕЙСМОСИГНАЛІВ ВІД ЛЮДИНИ ТА ТРАНСПОРТНИХ ЗАСОБІВ, ЩО РУХАЮТЬСЯ

З аналізу характеристик сейсмічних сигналів визначається ознаковий простір - набір інформативних параметрів сигналів для класифікації рухомих об'єктів. З урахуванням зазначеної вище залежності спектрів сейсмосигналів в місці їх реєстрації від змінних параметрів джерела сигналу і каналу передачі інформації (приповерхневий шар землі), що призводить до похибки класифікації, спектральні характеристики сигналів і їх особливості не використовувались у якості класифікаційних ознак для виявлення людини та транспортних засобів. Треба також відзначити, що використання для цілей класифікації рухомих об'єктів спектральних, частотно-часових та статистичних методів обробки сейсмосигналу [3-8, 18] зна-

чно ускладнює обробку сигналів і збільшує інформаційно-енергетичні витрати. А це вкрай небажано для автономних, віддалених СП.

Тому у якості інформативних класифікаційних параметрів сейсмосигналів від людини, що рухається, з урахуванням наведених вище експериментальних даних обиралися часові параметри: тривалість сейсмоімпульсів τ_i від 100 мс до 300 мс і період їх проходження T_i від 0,3 с до 1,5 с. Розпізнавання людини по її сейсмоімпульсах базується на визначенні мікроконтролером СП цих параметрів з аналізу сейсмосигналу та їх порівнянні із заданими в його пам'яті часовими інтервалами при кількості послідовно зареєстрованих імпульсів $N=5$. Якщо обидві виміряні величини τ_i і T_i потрапляють у вказані діапазони відповідних параметрів в кожному з п'яти послідовних імпульсів, то пристрій видає сигнал про виявлення людини. Для зменшення помилкових спрацьовувань пристрою при проникненні в зону його виявлення тварин на відміну від відомих пристроїв [9, 19] додатково вводиться часовий критерій відбору, пов'язаний з особливостями руху середніх і великих тварин. Цей критерій утворює третій інформативний класифікаційний параметр сейсмосигналів від людини, що рухається, і ґрунтується на експериментально встановленому факті, що відношення максимальної і мінімальної тривалості сейсмічного імпульсу $T_{i\max} / T_{i\min}$ після п'яти послідовних імпульсів, що пройшли критерії відбору за величинами τ_i і T_i , для людини не перевищує величини 1,25, а для чотиринової тварини це відношення завжди більше 1,25. Запропонований метод розпізнавання людини, що базується на використанні часових параметрів сейсмосигналів (часовий метод розпізнавання), до того ж захищає СП і від деяких інших помилкових спрацьовувань, наприклад, від разових або неперіодичних сейсмічних і наведених в ґрунті акустичних імпульсів.

Як було зазначено вище, сейсмосигнали від рухомих транспортних засобів мають безперервний характер, а при наближенні техніки обвідна сигналу зростає. Безперервність сигналу витікає з аналізу мікроконтролером сейсмічного пристрою його тривалості. При тривалості більше однієї секунди пристрій ви-

значає сигнал як безперервний. Як ознака наближення транспортного засобу вибирається відношення U_t / U_τ - величин середнього значення обвідної сигналів в момент виявлення сигналу $t = 0$ і в наступний момент $t = \tau$. Критерієм позитивного рішення вибрано співвідношення $(U_t / U_\tau)^{-1} \geq 1,5$. Величина τ не однозначна, вона змінюється від 0,5 с до 5 с до тих пір, поки реалізується (або не реалізується) наведене вище співвідношення. Це пов'язано з можливим розкидом швидкостей транспортного засобу, що наближується: при більшій швидкості потрібно менше часу для реалізації зазначеного співвідношення. Зазначені часові класифікаційні ознаки визначають метод розпізнавання транспортних засобів, який до того ж захищає СП від помилкових спрацьовувань при імпульсному характері сигналів.

3. АПРОБАЦІЯ МЕТОДІВ РОЗПІЗНАВАННЯ

Апробація запропонованих методів розпізнавання рухомих об'єктів відбувалася за допомогою розробленого раніше автономного малогабаритного СП [17], на степовому ґрунті як у відсутності, так і в присутності різних перешкод безперервного та імпульсного характеру, зокрема, великих (кінь) і середніх (коза) тварин. Як правило, джерела помилкових спрацьовувань пристрою мають або чисто сейсмічну природу (рухомі тварини, дерево, що розгойдується на вітрі, періодичні удари по землі від різних технічних об'єктів), або природу, пов'язану з наведеною звуком сейсмічною хвилею, яка може виникати як від повітряних транспортних засобів, так і від природних явищ (гуркіт грому та ін.). У роботі [17] наведено також основні принципи роботи блоку обробки сеймосигналу, що визначають процес виявлення сеймосигналів від рухомих об'єктів.

Пристрій розміщувався у викопаній на глибину 0,3 м лунці. Транспортним засобом був легковий автомобіль. Швидкість пересування людини змінювалася від повільної ходьби до бігу, а автомобілю - від 10 км / год до 50 км / год. Як зазначалося, для зменшення помилкових спрацьовувань пристрою при виявленні людини, що рухається, на відміну від відомих

розвідувально-охоронних сейсмічних пристроїв до методу розпізнавання людини додатково вводився критерій відбору, пов'язаний з особливостями руху тварин. В результаті вірогідність коректного розпізнавання пристроєм людини в присутності різних перешкод сейсмічного імпульсного характеру складала не менше 0,9. Достовірність розпізнавання двох і більше осіб, що рухаються в зоні виявлення пристрою, падає, що пов'язано зі зменшенням вірогідності попадання найближчих двох сейсмоімпульсов від цих осіб у заданий інтервал періоду проходження імпульсів. Вірогідність коректного розпізнавання транспортного засобу, що наближається до сейсмічного пристрою, за наявності різних перешкод складає 0,84. Використання часових методів розпізнавання на відміну від спектральних і спектрально-часових методів дозволило СП працювати з малим енергоспоживанням: 10 мВт в режимі розпізнавання і 0,3 мВт в режимі очікування [17].

4. ВИСНОВКИ

Таким чином встановлено, що для віддалених автономних СП у якості методів розпізнавання людини і транспортних засобів, що рухаються, можуть з успіхом застосовуватися методи, які використовують часові параметри сейсмічних сигналів від цих об'єктів. Вдосконалені часові методи розпізнавання дозволять віддаленим автономним СП при незначному енергоспоживанні мати значну величину вірогідності коректного розпізнавання рухомих об'єктів. У порівнянні із спектральними, частотно – часовими і статистичними методами запропоновані часові методи значно простіше і дозволяють конструювати віддалені автономні СП з мінімальними енергетичними витратами.

Список використаної літератури

- [1]. Unattended ground sensors // SensoGuard booklet. <http://www.SensoGuard.com>
- [2]. Ya. I. Lepikh, S. V. Lenkov, V. G. Melnik, V. O. Romanov, V. O. Protsenko. Intelktualni vymiriuvalni kanaly sensoryh system // Nauka i oborona, 2011, № 2, s. 36-43. (in Ukrainian).
- [3]. G. Koç, K. Yegin. Footstep and vehicle detection using slow and quick adaptive thresholds algorithm // Intern. J. Distributed Sensor Networks, 2013, pp. 1-9 (2013), <http://dx.doi.org/10.1155/2013/783604>.
- [4]. J. Clemente, F. Li, M. Valero, W. Song. Smart seismic sensing for indoor fall detection, location and notification // IEEE J. Biomed. and Health Inform., pp. 1-9 (2019), doi: 10.1109/JBHI.2019.2907498.
- [5]. E. Köse, A. Hocaoglu. A new spectral estimation-based feature extraction method for vehicle classification in distributed sensor networks // Turk. J. Elec. Eng. & Comp. Sci., 27, pp. 1120 – 1131 (2019).
- [6]. Y. Tian, H. Oi, and X. Wang. Target detection and classification using seismic signal processing in unattended ground sensor systems // Proc. IEEE Int. Conf. Acoustics, Speech, and Signal Processing, Orlando, USA, pp. IV-4172 - IV-4175, (2002), doi: 10.1109/ICASSP.2002.5745620.
- [7]. J. Huang, Q. Zhou, X. Zhang, E. Song, B. Li, X. Yuan. Seismic target classification using a wavelet packet manifold in unattended ground sensors systems // Sensors, 13, pp.8534-8550 (2013), doi:10.3390/s130708534.
- [8]. X. Jin, S. Sarkar, A. Ray, S. Gupta, T. Damarla. Target detection and classification using seismic and PIR sensors // IEEE Sensors Journal, 12 (6), pp. 1709-1718, (2012), doi: 10.1109/JEN.2011.2177257.
- [9]. Pod red. I. N. Krukova. Seismicheskiye sredstva obnaruzheniya. Teoria i praktika postroyeniya. M., Radiotekhnika. 216 c. (2014). (in Russian).
- [10]. Z. Haig. Networked unattended ground sensors for battlefield // AARMS, 3 (3), pp. 387-399 (2004).
- [11]. A. Pakhomov, T. Goldburgt. Seismic systems for unconventional target detection and identification // Proc. SPIE, vol. 6201, Defence and security symp.: Sensors, and Command, Control, Commun., and Intell. (C3I) Technol. for Homeland Security and Homeland Defense. Orlando, USA, pp. 620111-1 - 620111-12 (2006), <https://doi.org/10.1117/12.668930>.
- [12]. A. Ermis, A. Yurttadur, T. Karacay. Human intruder detection by measuring and analyzing ground vibrations // J. Faculty Engineering and Architecture of Gazi Univ., 30 (2), pp. 207-215 (2015).
- [13]. R. Sheriff, L. Geldar. Exploration seismology. PressSynd, N.Y. 590 p. (1995).
- [14]. G. A. Athanasopoulos, P. C. Pelekis, G. A. Anagnostopoulos. Effect of soil stiffness in the attenuation of Rayleigh-wave motions from field measurements // Soil Dyn. and Earthquake Engin., 19 (4), pp. 277-288 (2000), doi: 10.1016/S0267-7261(00)00009-9.
- [15]. O. Kegyes-Brassai, Z. Szilvágyi, A. Wolf, R. Ray. Effects of local ground conditions on site response analysis results in Hungary // Proc. 19th Int. Conf. Soil Mechanics and Geotechnical Engineering, Seoul, Repub. Korea, pp. 252-255 (2017).
- [16]. R. Karmakar. Potential effects of climate change on soil properties: A Review // Science Int., 4 (2), pp. 51-73 (2016), doi: 10.17311/sci-intl.2016.51.73.
- [17]. P. P. Fastyskovsky, Ya. I. Lepikh, M. A. Glauberman. Autonomous Compact Seismic Device for Detection and Recognition of Moving Person and Vehicles // Proc. IEEE 15th International Conference on Advanced Trends in Radioelectronics, Telecommunications and Computer Engineering (TCSET), Lviv-Slavske, Ukraine, pp. 969-972, (2020), doi: 10.1109/TCSET49122.2020.235582.
- [18]. G. Succi, D. Clapp, R. Gampert, G. Prado. Footstep detection and tracking // Proc. SPIE, 4393, Orlando, USA, pp. 22-29, (2001), doi: 10.1117/12.441277.
- [19]. A. Pakhomov. System for detecting intruders // U.S. Patent 6 529 130 B2, Mar. 4, 2003.

Стаття надійшла до редакції 11.08.2020 р.

PACS: 07.07.Df

DOI <https://doi.org/10.18524/1815-7459.2020.3.212949>

USE OF SEISMIC SIGNALS' TIME PARAMETERS FOR MOVING OBJECTS RECOGNITION BY REMOTE SEISMIC DEVICES

P. P. Fastykovsky, O. V. Tkachenko, Ya. I. Lepikh, M. A. Glauberman*

Training, scientific & production centre of I. I. Mechnikov ONU, 4 Marshal Govorov St, Odessa, 65058, Ukraine, fpp@te.net.ua, mik_ag@i.ua

*Interdepartmental scientific-educational physics and technical center of Ukraine's MES and NAS of I.I. Mechnikov ONU, 2 Dvoryanskaya St, Odessa, 65082, Ukraine, ndl_lepikh@onu.edu.ua

Summary

The aim of the work is to determine improved temporal methods for recognition of a moving person and vehicles and the effectiveness of their use by remote autonomous seismic devices. Currently, the most promising seismic devices for the detection and recognition of moving objects are considered to be devices that use spectral and spectral-temporal methods of seismic signal processing. This is mainly due to their high probability of the objects correct recognition. But the use of these methods leads to a significant increase in the information and energy consumption, which is extremely undesirable for the remote autonomous seismic devices and systems based on them. The article proposes to use the energy-efficient temporal methods of seismic signal processing and the improved recognition methods based on the use of temporal parameters of seismic signals to recognize moving objects in these cases. To implement this and to reduce false alarms of the seismic devices, when animals penetrate into their detection zone, in contrast to the known devices, a temporal selection criterion related to the motion characteristics of medium and large animals is additionally introduced into the recognition method of a moving person. The testing of the recognition methods has shown that the proposed methods allow autonomous seismic devices to have both the insignificant power consumption and a significant value of the probability of the moving objects correct recognition. Compared with spectral, time-frequency and statistical methods for moving object recognition, the proposed temporal methods are much simpler and allow to design the remote autonomous seismic devices with minimal energy consumption.

Keywords: remote seismic device, seismic signals features, person and vehicle, temporal recognition methods, methods testing.

УДК: 621.391

DOI <https://doi.org/10.18524/1815-7459.2020.3.212949>

ВИКОРИСТАННЯ ЧАСОВИХ ПАРАМЕТРІВ СЕЙСМОСИГНАЛІВ ДЛЯ РОЗПІЗНАВАННЯ РУХОМИХ ОБ'ЄКТІВ ВІДДАЛЕНИМИ СЕЙСМІЧНИМИ ПРИСТРОЯМИ

П. П. Фастиковський, О. В. Ткаченко, Я. І. Лепіх, М. А. Глауберман*

Навчально-науково-виробничий центр ОНУ імені І.І.Мечникова, вул. Маршала Говорова, 4,
м. Одеса, 65058, Україна, frp@te.net.ua, mik_ag@i.ua

* Міжвідомчий науково-навчальний фізико-технічний центр МОН і НАН України ОНУ імені
І. І. Мечникова, вул. Дворянська, 2, м. Одеса, 65082, Україна, ndl_lepikh@onu.edu.ua

Реферат

Мета роботи полягає у визначенні вдосконалених часових методів розпізнавання людини і транспортних засобів, що рухаються, та ефективності їх використання віддаленими автономними сейсмічними пристроями. В даний час найбільш перспективними сейсмічними пристроями для виявлення і розпізнавання рухомих об'єктів вважаються пристрої, що використовують спектральні і спектрально-часові методи обробки сейсмосигналу. Це пов'язано, в основному, з їх високою вірогідністю коректного розпізнавання об'єктів. Але використання цих методів призводить до значного збільшення інформаційних і енергетичних витрат, що вкрай небажано для віддалених автономних сейсмічних пристроїв і систем на їх основі. У статті пропонується для розпізнавання рухомих об'єктів в цих випадках використовувати енергоекономічні часові методи обробки сейсмосигналу і вдосконалені методи розпізнавання, що засновані на використанні часових параметрів сейсмосигналів. Для реалізації цього та з метою зменшення помилкових спрацьовувань пристроїв при проникненні в зону їх виявлення тварин до методу розпізнавання рухомої людини на відміну від відомих пристроїв додатково вводиться часовий критерій відбору, що пов'язаний з особливостями руху середніх і великих тварин. Апробація методів розпізнавання показала, що запропоновані методи дозволяють автономним сейсмічним пристроям при незначному енергоспоживанні мати значну величину вірогідності коректного розпізнавання рухомих об'єктів. У порівнянні зі спектральними, частотно - часовими і статистичними методами розпізнавання рухомих об'єктів запропоновані часові методи значно простіше і дозволяють конструювати віддалені автономні сейсмічні пристрої з мінімальними енергетичними витратами.

Ключові слова: віддалений сейсмічний пристрій, особливості сейсмосигналів, людина і транспортні засоби, часові методи розпізнавання, апробація методів.

UDC 621.317

DOI <https://doi.org/10.18524/1815-7459.2020.3.212951>

IMPLEMENTATION AND EXPERIMENTAL RESEARCH OF THE TEST AND REFERENCE SIGNALS DIGITAL GENERATORS FOR IMPEDANCE MEASUREMENT IN WIDE FREQUENCY BAND

V. G. Melnyk¹, P. I. Borschov¹, V. K. Beliaev², O. D. Vasylenko¹, O. L. Lameko¹, O. V. Slitskiy¹

¹Institute of electrodynamic National Academy of Sciences of Ukraine, 56 Pr. Peremohy, 03057, Kyiv – 57. E-mail: melnik@ied.org.ua

²National University of Life and Environmental Sciences of Ukraine, Heroyiv Oborony st., 15, Kyiv, 03041, Ukraine

IMPLEMENTATION AND EXPERIMENTAL RESEARCH OF THE TEST AND REFERENCE SIGNALS DIGITAL GENERATORS FOR IMPEDANCE MEASUREMENT IN WIDE FREQUENCY BAND

V. G. Melnyk, P. I. Borschov, V. K. Beliaev, O. D. Vasylenko, O. L. Lameko, O. V. Slitskiy

Abstract. The structure and construction of the unified basic measuring module for creation of the broadband means for impedance measurement are described, which was used by us to study the important metrological characteristics of the test and reference signals digital generators for such devices. The sources and the magnitudes of the modular and phase errors are determined for the measuring channels with direct conversion of the impedance parameters and with compensation of the phase shift of the signal in the measurement object, as well as for the channels with balancing the measuring circuit modulo and phase. The researches shown attainability of measurement errors of an object impedance on absolute value and on its phase angle tangent less than 0.1% at frequencies up to 1 MHz. At the frequency of 1 kHz, the measurement error on the quadrature parameter did not exceed 0.001%. The study of the two-phase generators with precise adjustment of phase difference of reference and test signals showed the ability to achieve the time errors of their formation no more than a few nanoseconds.

Keywords: impedance, measurement, phase error, test signal, reference signal.

РЕАЛІЗАЦІЯ ТА ЕКСПЕРИМЕНТАЛЬНІ ДОСЛІДЖЕННЯ ШИРОКОСМУГОВИХ ЦИФРОВИХ ГЕНЕРАТОРІВ ТЕСТОВИХ І ОПОРНИХ СИГНАЛІВ ДЛЯ ВИМІРЮВАННЯ ІМПЕДАНСУ

В. Г. Мельник, П. І. Борщов, В. К. Беляєв, О. Д. Василенко, О. Л. Ламеко, О. В. Сліцький

Анотація. Описано структуру та конструкцію уніфікованого базового вимірювального модуля, призначеного для побудови широкосмугових засобів визначення параметрів імпедансу, який було використано для досліджень важливих метрологічних характеристик цифрових генераторів тестових та опорних сигналів, що застосовуються в таких приладах. Визначено дже-

© В. Г. Мельник, П. І. Борщов, В. К. Беляєв, О. Д. Василенко, О. Л. Ламеко, О. В. Сліцький, 2020

рела і оцінено величини модульних і фазових похибок вимірювальних каналів з прямим перетворенням параметрів імпедансу та компенсацією фазового зсуву сигналу в об'єкті вимірювання та каналів зі зрівноваженням вимірювального кола за модулем і фазою. Показано, що похибки за модулем та тангенсом фазового кута об'єкта вимірювання не гірше 0,1% на частотах до 1 МГц. На частоті 1 кГц похибка по квадратурному параметру не перевищувала 0,001%. Дослідження двофазних генераторів з точним регулюванням різниці фаз когерентних тестових та референсних сигналів показали можливість досягти часових похибок при їх формуванні не більше кількох наносекунд.

Ключові слова: імпеданс, вимірювання, фазова похибка, тестовий сигнал, опорний сигнал.

РЕАЛИЗАЦИЯ И ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНОЕ ИССЛЕДОВАНИЕ ШИРОКОПОЛОСНЫХ ЦИФРОВЫХ ГЕНЕРАТОРОВ ТЕСТОВЫХ И ОПОРНЫХ СИГНАЛОВ ДЛЯ ИЗМЕРЕНИЯ ИМПЕДАНСА

В. Г. Мельник, П. И. Борщев, В. К. Беляев, А. Д. Василенко, А. Л. Ламеко, А. В. Слицкий

Аннотация. Описаны структура и конструкция унифицированного базового измерительного модуля, предназначенного для построения широкополосных средств определения параметров импеданса, который был использован для исследований важных метрологических характеристик цифровых генераторов тестовых и опорных сигналов, применяемые в таких приборах. Определены источники и оценены величины модульных и фазовых погрешностей измерительных каналов с прямым преобразованием параметров импеданса и компенсацией фазового сдвига сигнала в объекте измерения, а также каналов с уравниванием мостовой цепи по модулю и фазе. Достигнуты погрешности по модулю импеданса объекта измерения и тангенсу его фазового угла не хуже 0,1% на частотах до 1 МГц. На частоте 1 кГц погрешность по квадратурному параметру не превышала 0,001%. Погрешности по времени формирования тестовых и референсных сигналов в двухфазных генераторах с точной регулировкой разности их фаз не превышали нескольких наносекунд.

Ключевые слова: импеданс, измерения, фазовая погрешность, тестовый сигнал, опорный сигнал.

Introduction

The article [1], published in a previous issue of the journal, shows an effective way to solve the main problem in creation of the broadband means for impedance measurement - significant increasing of errors under dividing the information signal into quadrature components with increasing frequency. The results of the development of broadband digital generators of test and reference signals using Johnson ring meters, which ensure very small phase errors, are presented. The structures and principles of operation of impedance meters that can be implemented on their basis with using the impedance - voltage conversion, the bridge

method with balancing by module and phase of the imbalance signal, as well as their combinations are considered. The following are the results of development and metrological research of fundamentally important characteristics of the prototype of the basic module of a high-precision, broadband measuring channel designed for the construction of information and measuring systems.

Research equipment

Based on a set of new technical solutions for the test and reference signal generators described in [1] as well as software and hardware for par-

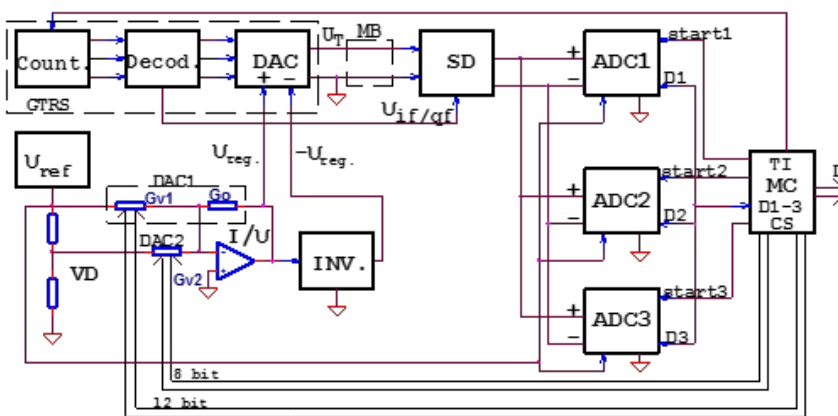
allel-serial conversion of information signals [2], a new basic measuring module MXP-6 was developed. This module can be the basis for the creation of the impedance-measuring devices that are competitive with respect the best world models of similar equipment. More detailed information on these issues can be found in the references of the article [1], in [3], in the review [4], in the materials of joint works of the national scientific school on precision impedance metrology and NIST (USA) [5,6], as well as on sites of leading foreign companies, in particular [7 - 9].

Figure 1 shows its structure and photograph as part of the measurement and information system.

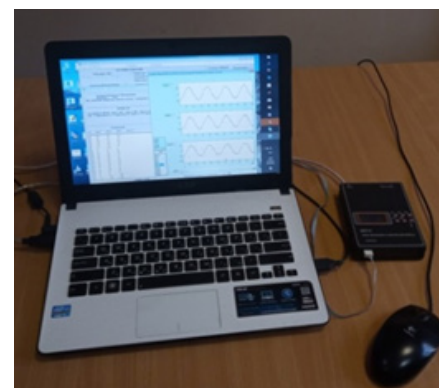
The module includes generator of test and reference signals of GTRS, the unit of conversion of informative signals based on three multi-bit integrating ("multi-slope") ADC of the MAX-132 type with the synchronous (phase-sensitive) detector (SD) on the input, a source of constant reference voltage U_{ref} for ADC and GTRS. The block diagram also includes precision and high-discrete voltage regulator with direct and inverse output based on two integrated 12-bit analog-to-digital converters DAC1 and DAC2, type AD7945 and operational amplifiers: current-to-voltage converter (I/U) and inverter (INV), as well as micro-controller (MC), type STM32L152. The specialization of the measuring channel for specific tasks performs the measuring block (MB), to which the object under study is connected (sensor, electrochemical cell, electrical product). The blocks

of the generator, controller with display and keyboard and measuring block realised as replaceable submodules, which installed in the connectors of the motherboard. Motherboard also houses the other components of the circuit in Fig. 1, power supply and various auxiliary components. A feature of the presented scheme is the high-discrete regulation of the GTRS output voltage (with a discreteness of one unit of ADC scale) by changing the reference voltage of the generator's DAC with using the paired DAC1 and DAC2 of the base module. This allows you to explore the characteristics of the generator and the conversion unit by automatic step-by-step scanning.

The DAC includes 74CH4053 chips (3 switches for 2 positions), which connect 8 precision resistors first to the source of the reference voltage of positive polarity, and then to the inverted reference voltage. The DAC of the generator uses an operational amplifier AD8032 with a frequency band of 80 MHz, which produces the output quasi-sinusoidal signal U_T . In the decoder of the generator introduced the logic scheme "AND" of coincidence of the logical state of the triggers in the last cycle of the counter cycle and of the clock pulse. It forcibly sets this state (phase 0°) to prevent the malfunction of the ring counter due to failures of the triggers under the action of interference. This node is implemented on a three-input circuit matching high levels of logic signals (74HC10). Its output is connected to the inputs of the triggers to set them to state "0". When imple-



a



b

Figure 1. The photo of the information-measuring system for experimental research and the structure of its measuring module

menting a two-phase test signal generator [1], in the master shaper is added another element of the chip 74HC10, which generates for slave shaper sync pulses "sync. 90°" ("mid of cycle"), which corresponds to the phase angle 90° of the its output signal.

The different variants of constructive decisions of the generator block were researched. The best frequency and phase characteristics are achieved by using chips with minimal dimensions (distance between the central pins of 0.635 mm) to reduce the size of the unit. To optimize the connections, the mounting of components were performed on both sides of the printed circuit board. The multilayer board was not used due to ambiguous expectations regarding the impact of such a decision on the characteristics of the generator. This issue requires further research. The photos of prototype samples of the generator unit and the entire electronic unit of the base module MXP-6 are shown in Fig. 2. The variant with a paired, two-phase generator has a block of two single-phase generators and the scheme of their synchronization, which are installed one above the other (Fig. 2c), or next to each other (Fig. 2b).

We aimed the experimental studies of the test and reference signal digital generators at assessing the compliance of the parameters of the syn-

thesized signals with the theoretically expected, based on the technical characteristics of the element base used and the proposed principles of reducing time shifts and phase errors. The operation of the circuit and the main parameters of the generated signals with frequencies up to 1 MHz were investigated using a basic module with a single-phase digital generator. The basic module with a two-phase generator was used to study the time and phase differences of the synthesized signals of the master and slave generators.

The clocking of the generators counters performed by the controller of the base module based on the STM32L152 microcontroller in the range from 32 Hz to 32 MHz, which corresponds to the frequencies of the output signals 1 Hz - 1 MHz. To control the two-phase generator, a unit for adjusting the delay of the clock sequence and synchronization of the slave generator relative to the master was additionally installed.

A two-channel digital oscilloscope from Tektronix TDS2012 with a sampling frequency of 1 GHz and a bandwidth of 100 MHz was used in the study of generator signals. Measurement of their amplitude and phase characteristics was performed using the measuring channel blocks (SD, ADC, DAC1). The following is a brief description of the studies performed and their results.

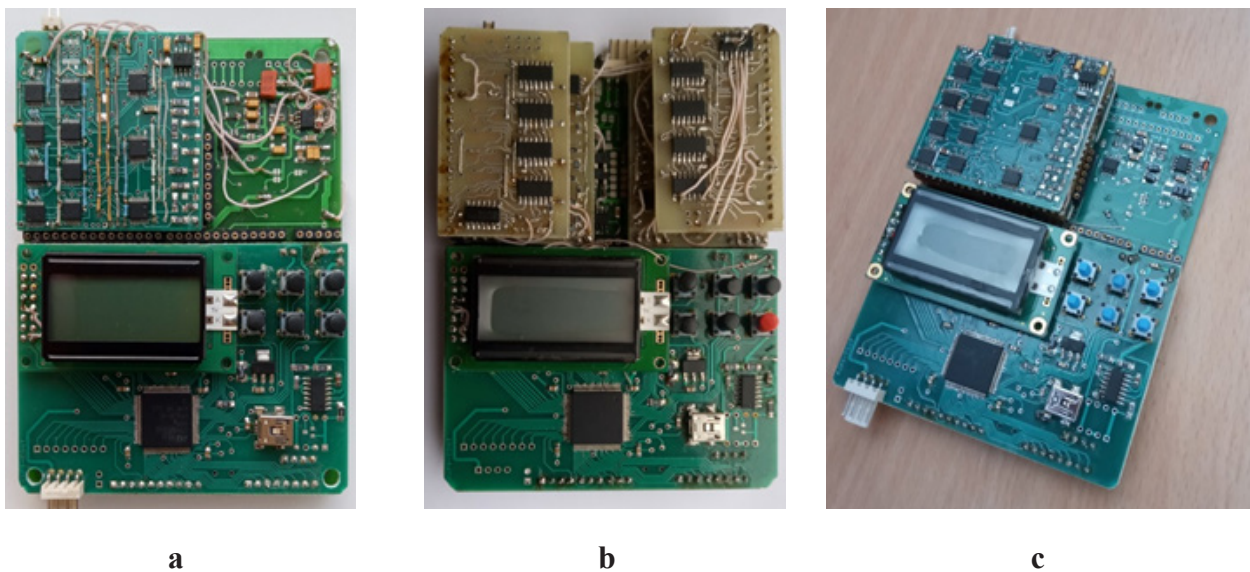


Figure 2. The photos of an experimental samples of the generator unit and the entire electronic unit of the base module MXP-6

The purpose and content of metrological research of the measuring channel

The general scope of the unified basic module covers several areas that have particular requirements for its main characteristics: the number of measurement channels; frequency range of test signals; accuracy and resolution; range of measured values and sensitivity; ratio of the impedance parameters of the object; restrictions on the level of test signals and measurement speed. The possibilities for improving each of these characteristics depend on the limitations of the others. Testing the metrological characteristics of the basic measuring channel in the entire multidimensional space of these requirements is technically impossible and practically impractical. Therefore, the studies were focused on determining the main results in the directions of the last stage of the work: on assessing the accuracy of regulation of the test signal and its phase relationships with the reference signals U_{if} ("in-phase") and U_{qr} (quadrature), as well as on the study of possible sources of phase errors in measuring impedance parameters - of the phase delays under formation of a quasi-sinusoidal voltage.

The research of the of regulation characteristics of the test signal generator

The amplitude of the output signal of the digital generator in the researched channel can vary from 0 to the reference voltage of the ADC (0.5 V) using the DAC1, which is part of the base module MXP-6. During the research, the control code of DAC1 changed from 0 to 2048 by alternate installation in "1" of one of the digits: from the 1st (LSB) to the 12th (MSB). Values of 3072 (two high bits in "1") and 4095 (all bits in "1") were also set. The alternating voltage at the generator output were measured by the ADC unit of the module with a synchronous detector by separation on two components: common-mode ("in-phase") and quadrature with a test voltage. At the maximum code of DAC1 (4095), the in-phase component of the test signal was about 262,000 units of ADC discreteness. According to the estimation of the accuracy of the information signals conversion block, its total reduced error (integral and differential nonlinearity, random component) did not exceed several thousandths of a percent.

The obtained values of the in-phase component were compared with the linear characteristic passing through "0" and the value of the ADC reading with the DAC code 2048. The error in the quadrature component was defined as the difference between ADC reading in the current state and with the code "0" DAC1. When evaluating the obtained control characteristic, an accurate millivoltmeter was also used and the differential nonlinearity of DC reference voltage regulation by means of DAC1 was taken into account (AD7945 chip has error of about 0.01%). The studies were performed at two frequencies: 1 kHz and 1 MHz with two instances of generators: with chips in TSSOP-16 housings (copy 1, Fig. 2a) and larger one, SO-16 (copy 2, Fig 2b). The obtained results are presented in graphical form. Fig. 3 shows the relative error of regulation of the main phase component (amplitude) of the test signal, Figs. 4 - the value of the reduced relative error of its quadrature component (error of the tangent of the phase angle): a - frequency 1 kHz (copies 1 and 2), b - frequency 1MHz (copy 1). The level of quadrature (phase) error of copy 1 is much lower due to the optimization and miniaturization of the structure.

The obtained values of the errors in the regulation of the reference voltage of the DAC of the digital generator and the characteristics of the regulation of the test voltage at frequencies of 1 kHz and 1 MHz in the range of codes 0 - 2048 (half of the dynamic range) do not exceed the values determined by the metrological characteristics on the direct current of the AD7945 chip (DAC1). In the upper half of the dynamic range, the non-linearity of regulation increases to 0.3%. It was found that the reason for this is the dependence of the resistance of the keys used in the DAC of the generator (high-speed and low-cost chips 74HC4053) from the currents switching in this part of the dynamic range (up to 1.7 mA). Reducing this nonlinearity to an insignificant level is possible by means of algorithmic correction (it is quite stable), or by using keys with lower resistances in the open state (if available at an affordable price and speed). It is also possible by reducing the voltage regulation of the DAC (U_{reg}) or by increasing the resistances connected in series with the keys to form the stairs of a quasi-sinusoidal voltage. The latter, however, impairs the phase characteristics of the genera-

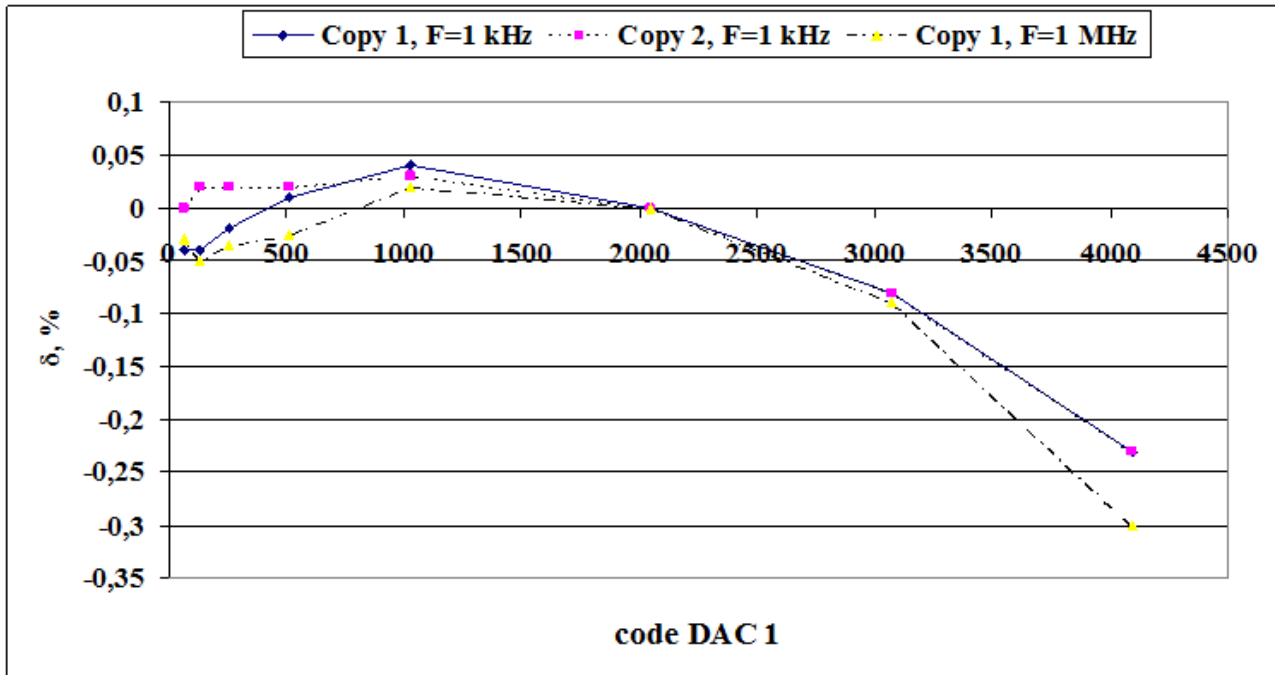
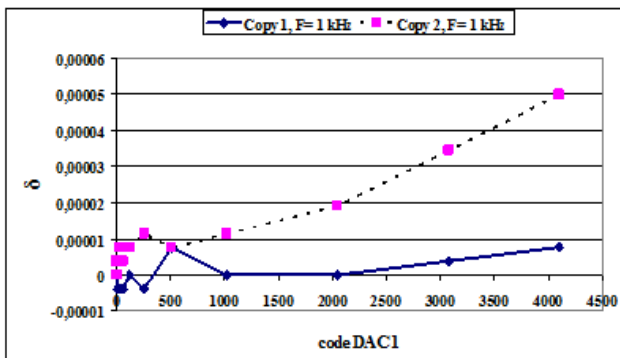
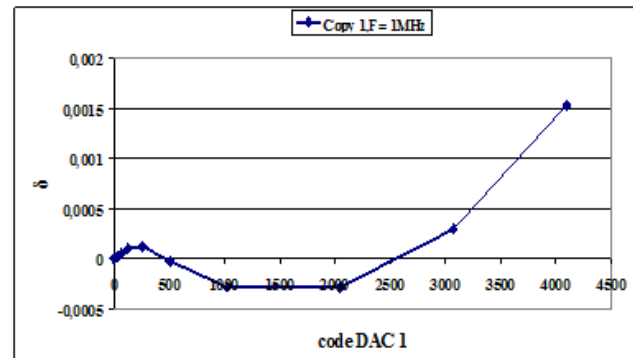


Figure 3. The relative error of regulation of the main phase component (amplitude) of the test signal



a



b

Figure 4. The value of the reduced relative error of quadrature component of the test signal (error of the tangent of the phase angle): a - frequency 1 kHz (copies 1 and 2), b - frequency 1MHz (copy 1)

tor in the upper part of the frequency range. At the same time, we note that the indicated error is significant only for the precise measurements by bridge and combined methods, but they are carried out at lower frequencies.

The results obtained in this study show the possibility of the absence of a practically significant phase error of the regulation characteristic at a frequency of 1 kHz. The relative error in the quadrature component is about 10^{-3} at a frequency of 1 MHz. Note, the presented data are the end-to-end characteristic of the conversion channel:

from its input (the reference voltage U_{ref} source) to its output (ADC), and include the errors of all its blocks except, in this case, the errors of the measuring circuit block. In instruments for practical use, the overall error also depends on the measurement methods and the characteristics of the measuring circuit.

The study of phase delays under formation of the test and reference signals.

Fig. 5a shows the waveforms of the test quasi-sinusoidal signal and the common-mode, U_{if})

reference signal for a synchronous detector at a frequency of 1 MHz. Fig. 5 b, c shows a portion of the reference and test signal near zero value of the test signal at frequencies of 125 kHz and 1 MHz. The time delay of a quasi-sinusoid relative to the front of the reference signal is about 30 - 40 nsec (front duration is 10 nsec.). It is due to the delay in the operation of the keys of the DAC generator (about 20 nsec) and the delay in its operational amplifier. The delay in the keys is fully compensated by the synchronous detector delay relative to the front of the reference signal. The delay in the operational amplifier can be reduced by introducing a small inductance in the feedback. It was proved by experimental studies (Fig. 4 b) that the phase error of the through conversion channel not exceed several nanoseconds in the range from infra-low frequencies to 1 MHz.

The measuring channel with a two-phase digital generator which was developed on the basis of the stated early [1] principles, can operate in the mode of balancing the bridge circuit on modulo and phase of the output signal at operating frequencies up to 62.5 kHz. The limiting factors are the clock frequency of the microcontroller (32 MHz) of this device and the minimum required discreteness of regulation of the phase delay of the signals of the slave generator, which should be no worse than 1% of the phase range $\pm 90^\circ$ for the bridge balancing. It is 0.7° at this frequency. In this case, the accuracy of phase balancing of the bridge provides an insignificant effect of the quadrature component of the impedance on the

measurement accuracy of its main parameter. An increase in the clock frequency above 32 MHz is impractical, taking into account the purpose and area of this development. Therefore, a study of the functioning of a two-phase generator and phase relations between its signals was carried out at a frequency of 62.5 kHz.

The block of formation of clock pulses (clock sequencer, [1] fig. 3), realized in the tested sample of the two-phase generator, provides exact anti-phase of the quasi-sinusoidal test signals (U_{T2} lags behind U_{T1} on a phase on 180°) under 4-bits control codes "delay1", "delay 2" accordingly 7, 15. Under control codes 0, 0 U_{T2} lags behind U_{T1} on phase on 90.7° , and at codes 15, 15 U_{T2} is ahead of U_{T1} by 90° . The fig. 6 shows the oscillograms of the reference signal "in-phase" of the master generator and the output signals of the slave generator at the phase delay codes of the slave generator 15; 15 (a); 0; 0 (b); 7, 15 (c).

Such phase relations allow balancing the bridge circuit with the reference measure of active resistance at any character of the measured impedance. The materials of experimental studies of the test and reference signals phase relationships in the states that determine the potential phase characteristics of the measuring channel given below.

In fig. 7a shows the time ratios of the reference signals U_{if} , U_{qf} ("in-phase" or quadrature with U_T) of the master (0) and slave (v) generators at zero values (0; 0) of the phase delay codes of the slave generator (delay code 1, 2 in Fig. 3 [1]).

The fronts of the U_{IF} and U_{QF} reference volt-

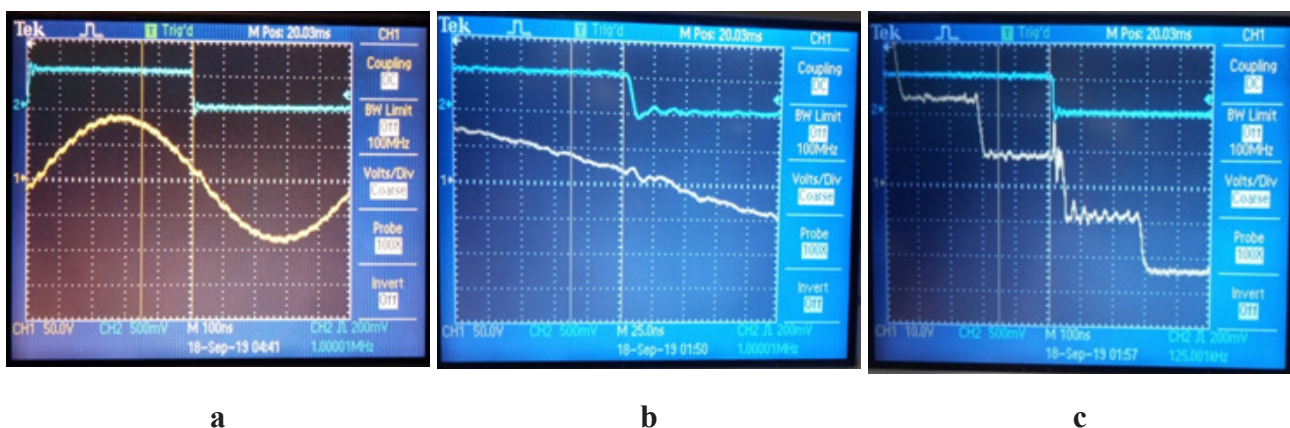


Figure 5. The complete period of the quasi-sinusoidal signal and reference signal with same phase at a frequency of 1 MHz (a); the reference and the test signal (bottom) near its zero value at frequencies of 125 kHz and 1 MHz (b, c)

ages of the subordinate generator in this (initial) state of FD 2, 3 counters (Fig. 3 [1]) are shifted by one control step (30 nsec.) relatively to the U_{if} and U_{qf} reference voltages of the master generator. The photo (Fig. 7 b) shows the corresponding oscillograms obtained in experimental studies.

Fig. 8 a shows the "in-phase" reference signal of the master generator (above) and the quadrature reference signal of the slave generator (in the same phases) with the phase delay control codes 15, 15. Fig. 8 b shows the time shift of the reference signal of the slave generator relative to the

master (above) by 30 nsec. when changing the control code on one unit of discreteness (from 7, 15 to 7, 14).

Fig. 9 shows the shift in time (about 30 ns) of the quasi-sinusoidal voltage stairs of the master generator (a) and voltage stairs of the slave generator (b, c) in the area of their zero values relatively reference voltage U_{if} of the master generator. Fig 9b corresponds the phase delay code 7, 15, as well as relatively quadrature reference voltage U_{qf} of the master generator under the phase delay code of the slave generator 15, 15 (c).

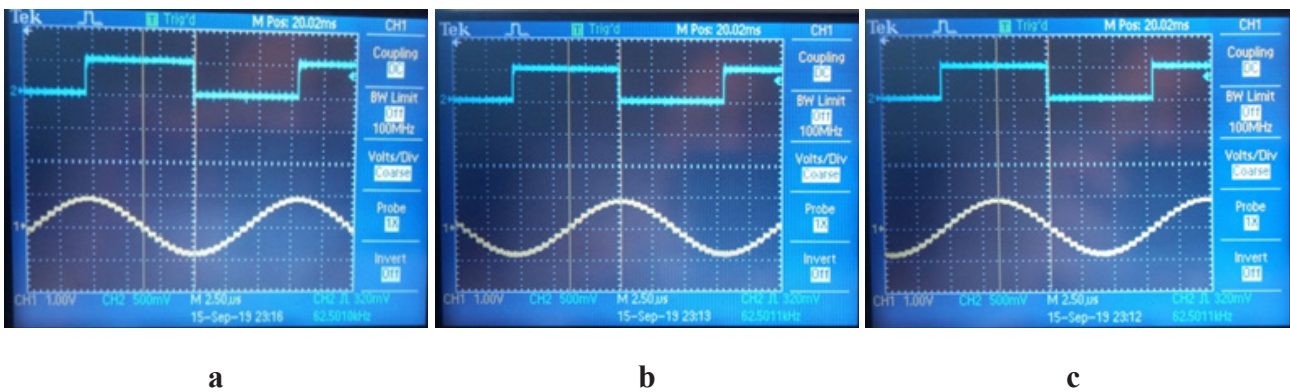


Figure 6. The reference signal of the master generator U_{if} and the quasi-sinusoidal signals of the slave generator under different codes of phase delay

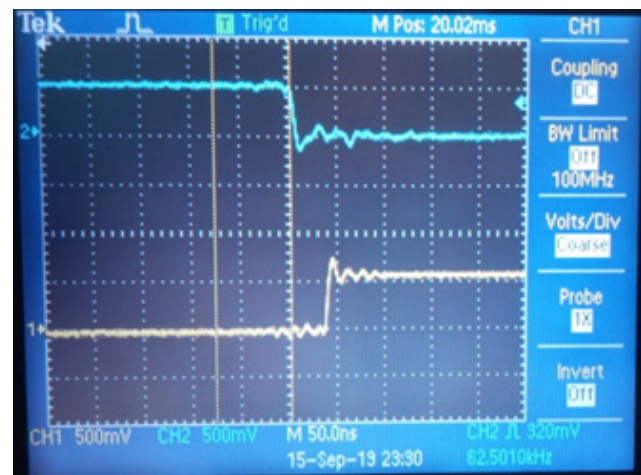
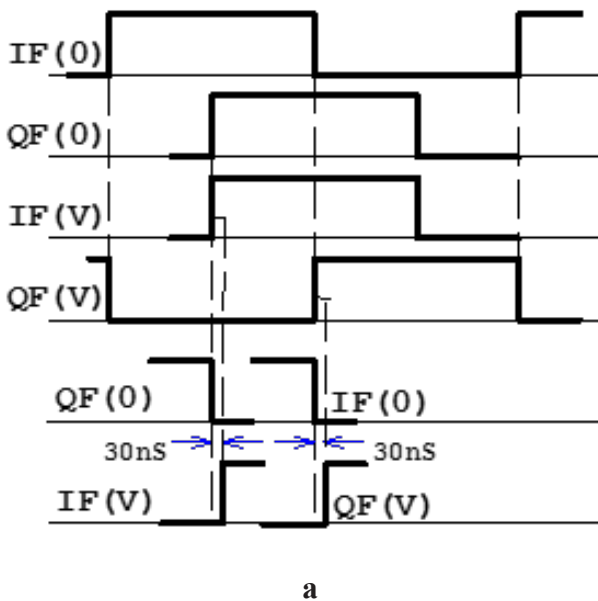


Figure 7. Time ratios between reference signals (U_{if} and U_{qf}) of the master (0) and slave (v) generators at different phase delay codes

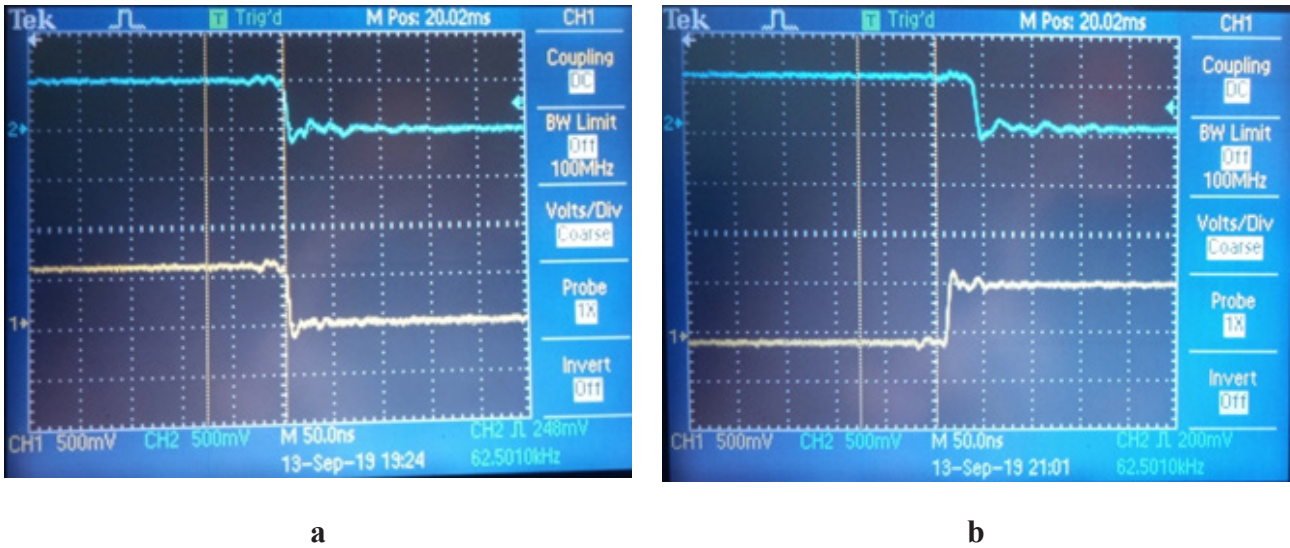


Figure 8. The reference signal U_{ir} of the master (above) and the quadrature reference signal U_{qr} of the slave generator under phase delay codes 15, 15; time shift of the reference signal of the slave generator relative to the master (above) by 30 nsec. when changing the phase delay code from 7, 15 to 7, 14 (b)

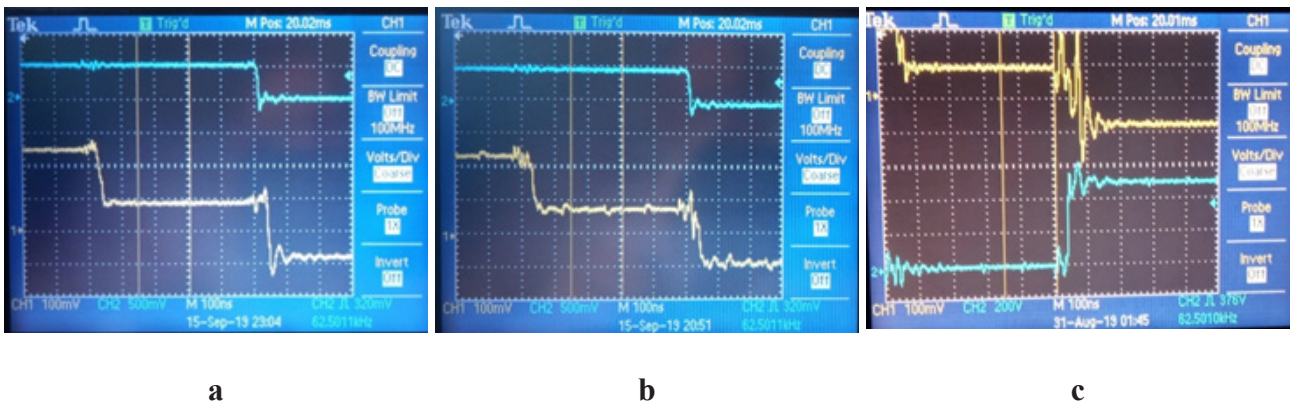


Figure 9. Time shift (about 30 nsec.) of the master generator's quasi-sinusoidal voltages stairs (a) and the slave generator's stairs (b, c) relatively to U_{ir} of the master generator under phase delay codes 7, 15 (b) or relative to U_{qr} under codes 15, 15 (c)

Fig. 10 a, b shows the delay (15 - 20 nsec.) the fronts of the pulses of the formation of quasi-sinusoidal voltage at the outputs of the DAC keys (bottom) relatively to the pulse front at the key inputs near the values of the phase angle 90° and 180° , respectively. The delay in the formation of the quasi-sinusoidal voltage stairs at the output of the DAC (30 nsec.) relatively to the pulse front at the input of the DAC key is shown in Fig. 10 c.

Fig. 11 shows the stairs of the output quasi-sinusoidal signals of the master (above) and slave generators (in opposite phase) under the phase delay control code of the slave generator 7, 15 (a), as well as with the phase shift between them on a

unit of discreteness (0.7°) near the phase angle 45° with control code 3, 14 (b).

The creation of a precise regulated measure of phase shift for the low-frequency range, that is an urgent task of measurements in the power industry, becomes possible on the base of the developed two-phase digital generator with a phase delay scheme. The shown results of the experiments confirm that the error of synchrony in the formation of test and reference signals is not more than a few nanoseconds. This corresponds to an error of phase 0.1° at a frequency of 62.5 kHz. At an operating frequency of 1 kHz, the phase error will be approximately 0.0016° , and at a frequency

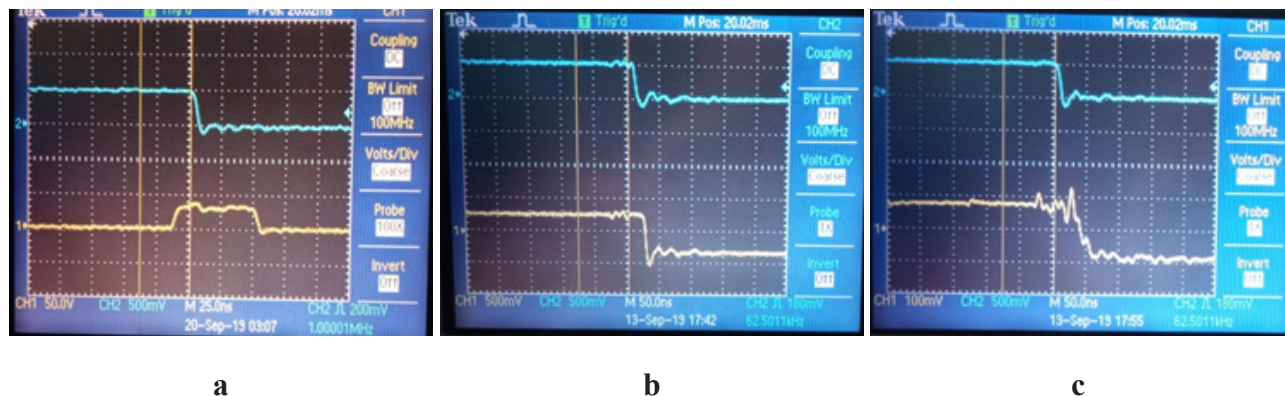


Figure 10. The delay (15 - 20 nsec.) of the pulse fronts for formation of quasi-sinusoidal voltage at the outputs of the DAC keys (bottom) relatively to the pulse front at the key inputs

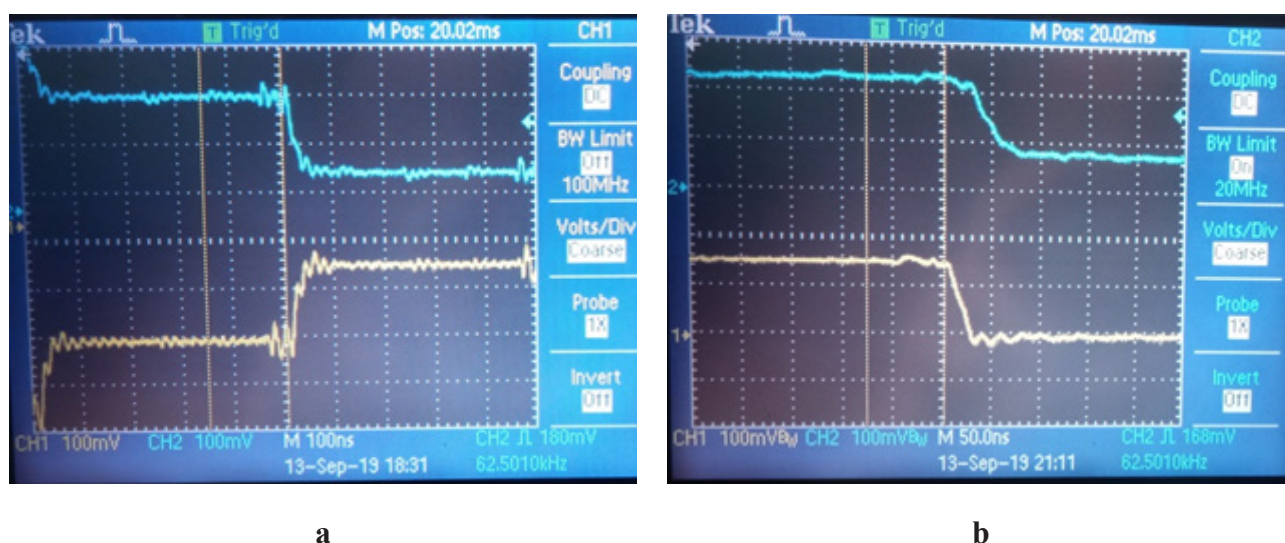


Figure 11. The stairs of quasi-sinusoidal signals of the master (above) and subordinate generator (in opposite phases) under delay code 7, 15 (a) and the phase shift between them by one unit of discreteness (0.7°) near the phase angle 45° at code 3, 14 (b)

of 50 Hz - no more than 0.0001° . The developed schemes and samples of digital generators provide limited discreteness of sinusoid approximation and phase shift regulation, which may not meet the requirements for the ethalons. Therefore, it is advisable to increase the number of triggers of the ring counter for increasing the number of stairs of the quasi-sinusoid and reducing the number of harmonics of the synthesized signal and their levels. The discreteness of phase delay regulation can be increased by doubling the bits in the delay counters FD1 - FD3 in the diagram on Fig. 3 [1]. At a clock frequency of 32 MHz, the phase control discreteness at a frequency of 1 kHz may be less than 0.01° , and at a frequency of 50 (60) Hz -

about 0.0007° . The metrological characteristics of the developed hardware and software, which are given, allow to use its also for creation of precision quadrature bridges of alternating current with phase control of balancing process.

Conclusions

Optimized structure and circuit solutions of digital generator units provide undistorted forming of signals up to the maximum operating frequencies of the applied element base (in this case up to 50 MHz).

The basic modules of measuring channels with new digital generators are implemented with us-

ing of an improved method of direct conversion of impedance parameters with compensation of phase shift of the signal in the object of measurement and with balancing of the measuring circuit by module and phase. Their important metrological characteristics have been studied, the possibility of obtaining errors in modulus and tangent of the phase angle of the object of measurement not worse than 0.1% of infra-low frequencies up to 1 MHz has been shown. At a frequency of 1 kHz, the error in the quadrature parameter did not exceed 0.001%. Taking into account the data on the sensitivity and linearity of the MXP-6 module signal conversion channel given in [3], the total base error of the RLC meter based on the developed solutions can be expected at the level of 0.01% and below.

The researches of the characteristics of the two-phase digital generators have shown the ability to provide time differences in the formation of coherent test and reference signals of not more than a few nanoseconds. The high accuracy of highly discrete phase delay control between the signals of the master and slave generators has been experimentally confirmed.

The materials of developments and experimental researches given in this article and in article [1] confirm technical and economic efficiency of the new approaches to construction of generators of test signals and measuring channels of the impedancemetric equipment offered in previous works. The prospectiv of the developed ways of realization of these approaches have been proved for creation of the simple, technological and inexpensive, broadband and precision impedance-measuring microsystems, in particular sensory, which on important characteristics are competitive to the existing measurement means.

References

- [1]. Melnyk V. G., Borschov P. I., Beliaev V. K., Vasilenko O. D., Lameko O. L., Slitskiy O. V. Improvement generating of the test signals for determination of the impedance parameters in wide frequency range / *Sensor Electronics and Microsystem Technologies*. – 2020. – T. 17, №2. – P. 60 -72. DOI: <https://doi.org/10.18524/1815-7459.2020.2.205825>.
- [2]. Melnik V. G., Borshev P. I., Vasilenko A. D., Slickij A. V. Optimizaciya struktury i algoritma raboty vysokochuvstvitelnoj multi-sensornoj sistemy s impedansnymi preobrazovatelyami // *Sensor Electronics and Microsystem Technologies*. - 2018. - T. 15, № 4. - C. 100 - 109. DOI <http://dx.doi.org/10.18524/1815-7459.2018.4.150520> . Access : <http://semst.onu.edu.ua/article/view/150520/152029> .
- [3]. Mizhnarodna nauково-tehnicna konferenciya "Problemi suchasnoyi elektrotehniki - 2020", Kyiv, 08 - 12 chervnya 2020 r. Tezi ta dopovid. Dostup: https://drive.google.com/drive/folders/14ZPzpyu_yfWva_o_bV6zE7ytVu0j56rU (in Ukrainian).
- [4]. Labuzov A. E., Lameko A. L., Surdu M. N. Precizionnye izmeriteli impedansa (rlc-metry): sostoyanie rynka i tendencii razvitiya. Dostup: <http://www.promix.com.ua/public/RLC.pdf> (in Russian).
- [5]. Surdu M. N., Lameko A. L., Karpov I. V. (Ukraine), Kinard J., Koffman A. (USA). Theoretical basis of variational quadrature bridge design of alternative current. *Moskow, Measurement Techniques*, No 10, 2006 y. P. 58-64.
- [6]. Surdu M. N., Surdu D. M., Koffman A. Teoreticheskie osnovy postroeniya mostov peremennogo toka s fazovym uravnoveshivaniem. *Metrologiya-2012*, Harkiv. – C. 194-198. (in Russian).
- [7]. Palmsens BV Netherlands. <https://www.palmsens.com/product/palmsens4/>
- [8]. SinePhase Impedance Analyzer 2097k | LCR Meter. <https://sinephase.com/impedance-analyzer-model-2097k-lcr-meter/> .
- [9]. Wayne Kerr 65120B Impedance Analyzer. <https://www.ebay.co.uk/itm/Wayne-Kerr-65120B-Impedance-Analyzer-120-MHz-1J65120BD1-AL-T-Keysight-E4991B/202792333922?hash=item2f375d7262:g:TPMAAOSwsBtaLvr2> .

Стаття надійшла до редакції 04.08.2020 р.

UDC 621.317

DOI <https://doi.org/10.18524/1815-7459.2020.3.212951>

IMPLEMENTATION AND EXPERIMENTAL RESEARCH OF THE TEST AND REFERENCE SIGNALS DIGITAL GENERATORS FOR IMPEDANCE MEASUREMENT IN WIDE FREQUENCY BAND

V. G. Melnyk¹, P. I. Borschov¹, V. K. Beliaev², O. D. Vasylenko¹, O. L. Lameko¹, O. V. Slitskiy¹

¹Institute of electrodynamic National Academy of Sciences of Ukraine, 56 Pr. Peremohy, 03057, Kyiv – 57. E-mail: melnik@ied.org.ua

²National University of Life and Environmental Sciences of Ukraine, Heroyiv Oborony st., 15, Kyiv, 03041, Ukraine.

Summary

The structure and design of a new unified basic measuring module, which is intended for constructing broadband means for determining the impedance parameters are described. This module was used by us to study the important metrological characteristics of digital test and reference signal generators, as well as the entire measuring channel, which used in such devices. The features of the created instrument are the possibility of highly-discrete and precise regulation of the amplitude of the test signal, regardless of frequency in the range up to 1 MHz by paired integrated digital-to-analog converters operating on direct current, and the possibility of obtaining additional coherent reference signals that are phase-controlled relative to the test signal with an accuracy of no worse than a few nanoseconds. The results of experimental studies of the regulation characteristics and a detailed study of possible sources of errors in the formation of quasi-sinusoidal test and reference signals in the ranges of their possible states are presented. The sources and the magnitudes of the modular and phase errors of the new measuring channels with direct conversion of the impedance parameters and with compensation of the phase shift of the signal in the measurement object, as well as channels with balancing the bridge circuit modulo and phase, which are based on the developed digital generators, have been determined. Ways to reduce the errors are indicated. It has been shown the possibility of obtaining errors modulo and tangent of the phase angle of the measurement object is not worse than 0.1% of infralow frequencies up to 1 MHz and the possibility of creating a precision ethalons of the tangent of the phase angle for the industrial frequencies. At frequency of 1 kHz, the error of the instrument under study, on the parameter which is quadrature relatively the main, did not exceed 0.001%.

Keywords: impedance, measurement, phase error, test signal, reference signal.

UDC 621.317

DOI <https://doi.org/10.18524/1815-7459.2020.3.212951>

РЕАЛІЗАЦІЯ ТА ЕКСПЕРИМЕНТАЛЬНІ ДОСЛІДЖЕННЯ ШИРОКОСМУГОВИХ ЦИФРОВИХ ГЕНЕРАТОРІВ ТЕСТОВИХ І ОПОРНИХ СИГНАЛІВ ДЛЯ ВИМІРЮВАННЯ ІМПЕДАНСУ

В. Г. Мельник¹, П. І. Борщов¹, В. К. Беляєв², О. Д. Василенко¹, О. Л. Ламеко¹, О. В. Сліцький¹

¹ Інститут електродинаміки НАН України пр. Перемоги 56, м. Київ-57, 03057, Україна. E-mail: melnik@ied.org.ua

² Національний університет біоресурсів та природокористування України, Вул. Героїв Оборони, 15, Київ, 03041, Україна

Реферат

Описано структуру та конструкцію нового уніфікованого базового вимірювального модуля, призначеного для побудови широкосмугових засобів визначення параметрів імпедансу, який було використано для досліджень важливих метрологічних характеристик цифрових генераторів тестових і опорних сигналів та всього вимірювального каналу, що застосовуються в таких приладах. Особливостями створеного пристрою є можливість високо-дискретного і точного регулювання амплітуди тестового сигналу незалежно від його частоти в діапазоні до 1 МГц, за допомогою спарених інтегральних цифро-аналогових перетворювачів, що працюють на постійному струмі, а також можливість отримання додаткових когерентних референсних сигналів, що регулюються за фазою відносно тестового сигналу з точністю не гірше кількох наносекунд. Представлені результати експериментальних досліджень регульовальних характеристик та детального вивчення можливих джерел похибок формування квазісинусоїдальних тестових та референсних сигналів в діапазонах їх можливих станів. Визначено джерела і оцінено величини модульних і фазових похибок нових вимірювальних каналів на основі розроблених цифрових генераторів з прямим перетворенням параметрів імпедансу та компенсацією фазового зсуву сигналу в об'єкті вимірювання, а також каналів зі зрівноваженням мостового вимірювального кола за модулем і фазою. Вказані шляхи їх зменшення. Показана можливість отримання похибок за модулем та тангенсом фазового кута об'єкта вимірювання не гірше 0,1% від інфранизьких частот до 1 МГц і можливість створення прецизійної міри тангенса фазового кута на промисловій частоті. На частоті 1 кГц похибка досліджуваного приладу по квадратурному параметру відносно основного не перевищувала 0,001%.

Ключові слова: імпеданс, вимірювання, фазова похибка, тестовий сигнал, опорний сигнал.

СОЛЯЧНІ СИСТЕМИ НА ОСНОВІ ТЕРМІЧНИХ І ФОТОЕЛЕКТРИЧНИХ ПЕРЕТВОРЮВАЧІВ СОЛЯЧНОЇ ЕНЕРГІЇ

А. В. Дорошенко,¹ М. А. Глауберман,² Я. І. Лепіх,² А. П. Балабан²

¹Навчально-науковий інститут холоду, кріотехнологій і екоенергетики ім. В.С. Мартинівського Одеської національної академії харчових технологій, вул. Дворянська, 1/3, Одеса, 65082.

²Одеський національний університет імені І.І. Мечникова, вул. Дворянська, 2, 65082, Одеса

СОЛЯЧНІ СИСТЕМИ НА ОСНОВІ ТЕРМІЧНИХ І ФОТОЕЛЕКТРИЧНИХ ПЕРЕТВОРЮВАЧІВ СОЛЯЧНОЇ ЕНЕРГІЇ

А. В. Дорошенко, М. А. Глауберман, Я. І. Лепіх, А. П. Балабан

Анотація. В оглядовій статті проаналізовано технічні і експлуатаційні характеристики розроблених на даний час сонячних систем на основі термічних і фотоелектричних перетворювачів сонячної енергії і основні напрями удосконалення PV/T модулів у складі систем.

Ключові слова: фотоелектричні перетворювачі, фотоелементи, PV/T модулі, теплові колектори.

SOLAR SYSTEMS BASED ON THERMAL AND PHOTOELECTRIC SOLAR ENERGY CONVERTERS

A. V. Doroshenko, M. A. Glauberman, Ya. I. Lepikh, A. P. Balaban

Abstract. The review article analyzes the technical and operational characteristics of currently developed solar systems based on thermal and photoelectric solar energy converters and the main areas of PV/T modules improvement as part of the system.

Keywords: photoelectric converters, photocells, PV/T modules, thermal collectors.

СОЛНЕЧНЫЕ СИСТЕМЫ НА ОСНОВЕ ТЕРМИЧЕСКИХ И ФОТОЭЛЕКТРИЧЕСКИХ ПРЕОБРАЗОВАТЕЛЕЙ СОЛНЕЧНОЙ ЭНЕРГИИ

А. В. Дорошенко, М. А. Глауберман, Я. И. Лепих, А. П. Балабан

Аннотация. В обзорной статье проанализированы технические и эксплуатационные характеристики разработанных на текущий момент солнечных систем на основе термических и фотоэлектрических преобразователей солнечной энергии и основные направления усовершенствования PV/T модулей в составе систем.

© А. В. Дорошенко, М. А. Глауберман, Я. І. Лепіх, А. П. Балабан, 2020

Ключевые слова: фотоелектрические преобразователи, фотоэлементы, PV/T модули, тепловые коллекторы.

Вступ

Традиційний кремнієвий фотоелектричний перетворювач лиш 4-17 % сонячної радіації перетворює в електроенергію. З іншої частини сонячного випромінювання біля 50 % перетворюється в тепло. Що з одного боку призводить до зростання температури фотоелементів і зниження ефективності їх роботи, а з іншого значна частина променевої енергії втрачається.

Тому актуальною є задача підвищення ефективності використання сонячного випромінювання, зокрема, шляхом інтеграції перетворюваної енергії в електричну і теплову.

1. Основні напрямки розробок і вдосконалення фотоелектричних PV/T модулів

Основна проблема практичного використання сучасних фотоелектричних модулів полягає в зниженні коефіцієнта перетворення з зростанням робочої температури фотоелемента T_c (рис. 1). Традиційний кремнієвий фотоелектричний (PV) модуль перетворює 4-17% сонячної радіації, що надходить в електроенергію (переважно короткохвильова частина спектра випромінювання) [1, 2]. З решти сонячної енергії, більше 50% перетворюється в тепло (за вирахуванням оптичних втрат). Це призводить до зростання робочої температури фотоелементів до критичних значень, при яких спостерігається падіння ККД, у порівнянні зі значеннями заявленими виробником для нормальних умов (в середньому, - 0,4% на один градус перегріву в фотоелементах з монокристалічного кремнію). Крім того, робота в умовах екстремальних температур може призводити до руйнування конструкції PV модуля [3]. У підсумку виходить, що для будь-якого кремнієвого фотоелемента з підвищенням робочої температури лінійно падає його ефективність [4]. На рис. 1 показана залежність ефективності PV модуля від робочої температури фотоелемента. Головним чином вона обумов-

лена процесами, що протікають всередині напівпровідникового матеріалу - кремнію під час поглинання енергії фотонів, тобто необхідно враховувати, що поряд з перетворенням в електрику має місце розсіювання енергії у вигляді тепла, а це в свою чергу обумовлює наявність

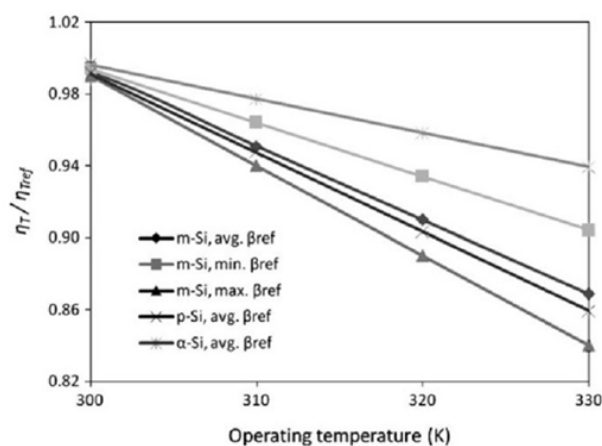


Рис.1. Залежність ефективності різних видів PV панелей (m-Si, p-Si, α-Si) від робочої температури фотоелемента

конвекції і випромінювання, як основних механізмів теплових втрат. Робоча температура також залежить від багатьох інших, зовнішніх чинників, серед яких погодні умови, такі як температура навколишнього середовища, швидкість вітру, величина потоку сонячного випромінювання, а також характеристики, які залежать від матеріалу і конструкції, наприклад, пропускання здатність прозорого покриття, ступінь чорноти фотоелементів тощо [5, 6]. В основному залежність ККД PV панелі від робочої температури фотоелементів можна виразити формулою:

$$\eta_T = \eta_{T_{ref}} \left(1 - \beta(T_c - T_{ref}) \right),$$

$$\beta = \frac{1}{T_0 - T_{ref}},$$
(1)

де $\eta_T / \eta_{T_{ref}}$ - коефіцієнт ефективності PV панелі, де η_T - дійсний ККД PV модуля, $\eta_{T_{ref}}$ - за нормальних умов (при температурі навколишнього середовища 25 °C і величиною потоку

сонячного випромінювання що дорівнює 1000 Вт / м^2); β_{ref} - температурний коефіцієнт, що показує в скільки разів падає ефективність вироблення електроенергії при підвищенні температури на один градус; T_0 - температура модуля (в найвищій точці), при якій електрична ефективність падає до нуля. Величина β залежить від застосовуваного в фотоелементах матеріалу: $0,45\% / \text{К}$ для кристалічного кремнію, $0,25\% / \text{К}$ для CdTe і $0,2\% / \text{К}$ для аморфного кремнію [5, 7, 8].

Починаючи з середини 70-х років минулого століття було проведено велику кількість досліджень в області прямого перетворення сонячної енергії в електричну. Всі вони, беручи початок з декількох розробок різних авторів, вилилися в ідею об'єднати PV панель і сонячний тепловий колектор в один модуль (попутно зменшивши площу необхідну під установку системи). Оскільки, в деяких випадках на об'єктах сонячної енергетики має місце необхідність отримувати сонячну теплову та електричну енергії (шляхом установки одночасно і сонячних колекторів (СК) і PV панелей), цілком виправданим стає питання про розробку такого пристрою, який поєднав би в собі обидва рішення.

PV/T колектор (Photovoltaic Thermal collector) - це модуль, в якому PV виконує не тільки свою безпосередню функцію виробництва електрики, але і розглядається в ролі поглиначка тепла. Таким чином, одночасно виробляється електрика і виділяється теплота. Головними напрямками розробок PV/T стали:

1. Пристрої, підключені до мережі:

а) Спочатку особливу увагу було зосереджено на підвищенні енергоефективності. Об'єктами досліджень стали PV/T модулі зі скляним покриттям (glazed PV/T), як повітряного, так і рідинного типу, але незабаром звернули увагу і на PV/T без покриття (unglazed PV/T), інтегровані з тепловим насосом.

б) Спочатку 1990-х широкого поширення набули великі PV фасади (тенденція встановлювати фотоелектричні панелі безпосередньо на фасад будинку), яким була потрібна система вентиляції, щоб відвести зайве тепло від PV панелей. При цьому виникла ідея використо-

вувати це тепло, наприклад, для обігріву приміщень.

2. Автономні системи:

Для вентиляції котеджів були розроблені автономні системи з невеликими повітряними PV/T модулями, в яких вентилятор приводиться в дію енергією від PV.

3. PV з рефлекторами-концентраторами сонячного проміння (concentrated PV/T):

Дослідження concentrated PV ґрунтувалися на ідеї замінити дорогі фотоелементи дешевими відбивачами. У центрі уваги була висока температура фотоелементів, що досягається. Використовуване примусове охолодження створювало можливість відводити і перенаправляти це тепло.

Основний спосіб зібрати PV/T модуль це приклеїти фотоелементи або ж цілий фабричний PV-ламінат до теплопоглинальної пластини традиційного плоского СК. У першому випадку електро контакти фотоелементів недостатньо захищені від впливу навколишнього середовища (вологи), у другому - має місце високий термічний опір між PV-ламінатом і пластиною, погіршуючи теплову продуктивність колектора.

Щодо glazed PV/T модулів зі скляним покриттям (скляне покриття роблять, щоб наблизити показники теплової ефективності до аналогічних як у традиційного СК, придушивши радіаційні і конвективні втрати тепла) варто відзначити характерне зниження теплової та електричної ефективності в порівнянні з окремо взятими СК і PV. Причинами низької теплової віддачі служать:

- специфічно низька поглинальна здатність фото панелі, що характеризується відбиттям променів в різних шарах PV-ламінату;

- поверхня PV не має спектрально селективного покриття (це призводить до радіаційних втрат);

- тепловий опір між поверхнею, що поглинає і теплоносієм великий через наявність додаткових шарів матеріалу, що в свою чергу веде до додаткових теплових втрат і незначного зниження електричної ефективності;

- і нарешті, енергія, що перетворюється на електрику - це неперетворена в тепло енергія.

Показники ефективності рідинного PV/T модуля, PV панелі і СК наведені для порівняння на рис. 2 [5]. Теплова ефективність представлена як функція від наведеної температури, а електрична - від температури фотоелемента і беруться з виразів вигляду:

$$\eta_{th} = \frac{\dot{m}C_p(T_{out} - T_{in})}{A_{pvt}G},$$

$$\eta_{el} = \frac{I_m V_m}{A_{pvt}G}, \quad (2)$$

де η_{th} - теплова ефективність, \dot{m} - масова витрата, C_p - питома теплоємність, T_{out} , T_{in} - температура теплоносія на виході-вході; η_{el} - електрична ефективність, I_m , V_m - сила струму і напруга PV працюючого при максимальній потужності; A_{pvt} - площа модуля, G - потік сонячного випромінювання на поверхні модуля.

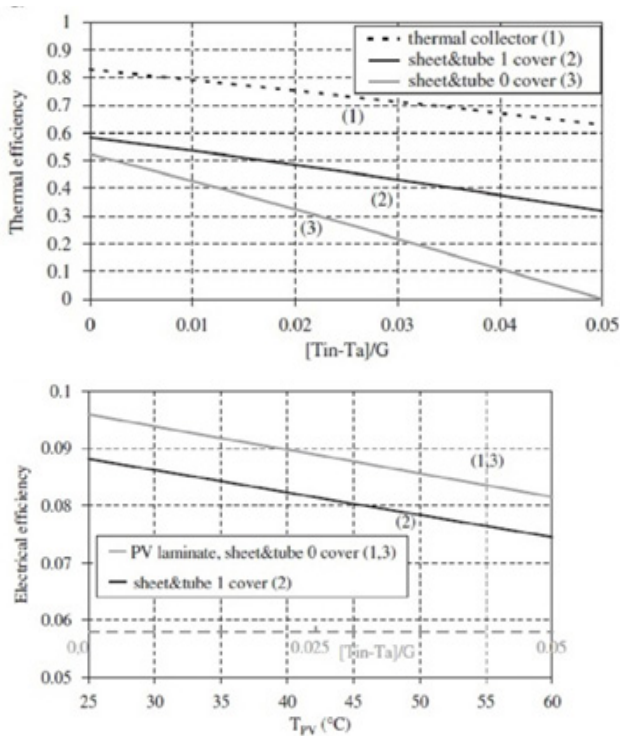


Рис. 2. Залежність термічної ефективності PV/T модуля від приведеної температури

Як видно з графіків оскління модуля (крива 2 на графіку) підвищує теплові характеристики в порівнянні з модулем без такого (крива 3), особливо при більш високих температурах. Крім того, в літературі зазначається, що для

повітряних PV/T колекторів, має місце значне збільшення теплової продуктивності при використанні верхнього скляного покриття з повітряним зазором. З іншого боку, скло дещо знижує електричні характеристики через додаткове відбиття на поверхні покриття. Для порівняння наведені ефективності СК і PV панелі (крива 1).

Лише для PV/T без покриття електрична ефективність дійсно може бути вище, ніж у традиційного PV, тому що вона в процесі відведення тепла охолоджується. Так, на рис. 3 показано результати порівняльних випробувань традиційного PV і рідинного unglazed PV/T, що проводяться в Туреччині. Температура PV панелі варіювалася в межах 50°C і 66°C, в той час як у PV/T спостерігалось змищення в область більш низьких температур на рівні 30°C і 45°C при показнику сонячного випромінювання близько 1000 W / м². Максимальна електрична ефективність PV і PV/T систем склала 11,5% і 13,6%, відповідно.

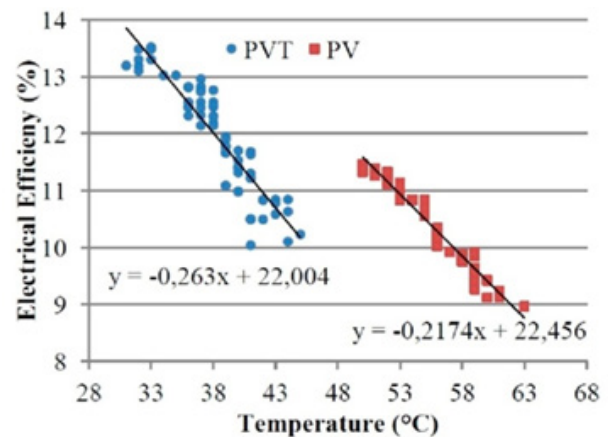


Рис. 3. Результати порівняльних випробувань традиційного PV і рідинного unglazed PV/T

PV/T був PV-ламінат з монокристалічного кремнію площею 1,6 м², у якого з тильного боку розташовувався повітряний канал товщиною 60 мм. Каналом прокачувалося повітря, охолоджуючи задню поверхню ламінату. Дані по ефективності установки наведені на рис. 4. Протягом дня температура тильної сторони PV-ламінату змінювалася від 12°C до 32°C і відповідно температура теплоносія на виході з каналу від 3,5°C до 14°C, при температурі навколишнього середовища від -1,6°C до 9,5°C,

і максимальний потік сонячного випромінювання $910 \text{ W} / \text{m}^2$.

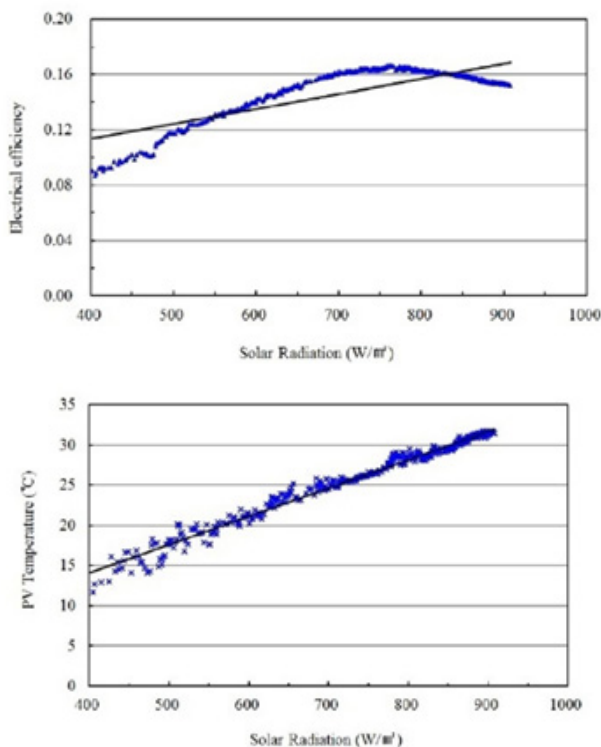


Рис. 4. Залежність електричної ефективності PV/T модуля від величини потоку сонячного випромінювання

В результаті теплова ефективність склала 22%, електрична - 15%. Таким чином, вдалося забезпечити роботу фотоелементів на рівні максимальної потужності, такої ж, як і заявлена виробником для стандартних умов, без падіння ефективності внаслідок нагріву PV.

В даний час дані про роботи в сфері вивчення PV / T розрізнені, і лише дуже обмежена їх кількість знайшла застосування на реальних об'єктах нетрадиційної енергетики. Єдиними розробками, які займають досить скромну частку ринку в даний час, є повітряні PV / T колектори для автономних систем. Вентиляційні системи PV в основному були представлені у вигляді конкретних рішень для окремих проєктів, в той час як concentrated PV / T, а також рідинні glazed PV/T і unglazed PV/T комерційно доступні, але ще не виробляються в обсягах достатніх, щоб можна було говорити про попит на них.

Серед можливих варіантів застосування по-

вітряних PV/T варто виділити напрямки:

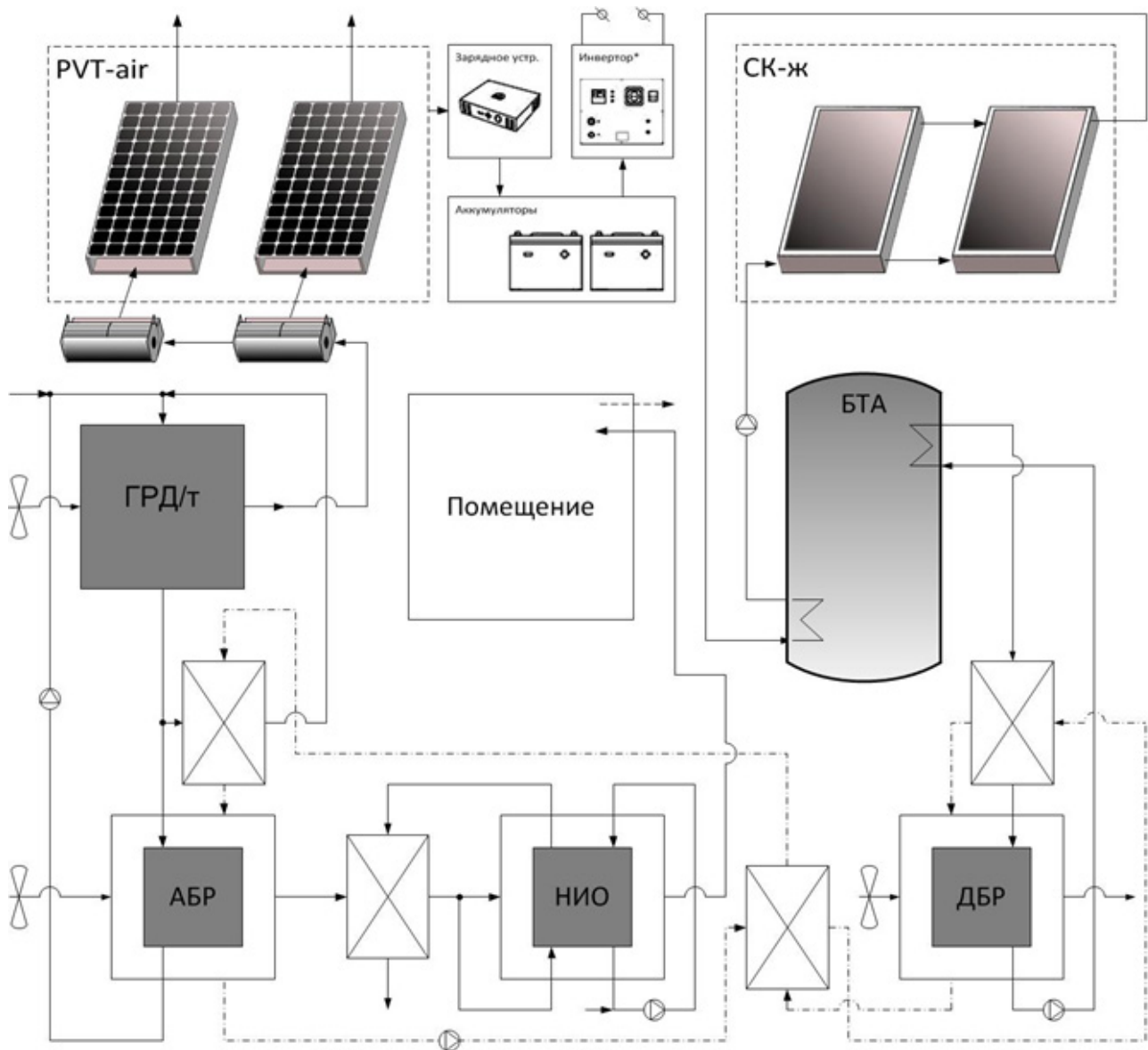
- забезпечення попереднього нагрівання зовнішнього повітря, що надходить в систему вентиляції;
- забезпечення циркуляція повітря в приміщенні за допомогою сонячного колектора;
- циркуляція нагрітого повітря через порожнину в конструкціях будівлі або в підлозі (звідки тепло може бути подано до споживача за допомогою пасивної або активної циркуляції);
- попереднє нагрівання води через теплообмінник повітря-рідина, після чого нагріта вода може, використовуватися як водопровідна або для опалення приміщень;
- підтримка вентиляції будівлі за допомогою природної конвекції, за допомогою використання PV фасаду як природної витяжки.

2. Перспективи інтеграції PV/T модуля в складі сонячних багатофункціональних абсорбційних систем

Як показано нами, PV/T модулі можуть бути застосовні в багатофункціональних системах, що працюють на основі тепловикористовуючого абсорбційного циклу. Подібні системи, маючи основним джерелом, що призводить її в дію, променисту енергію Сонця, використовуються для вирішення широкого спектра завдань життєзабезпечення, зокрема кондиціонування повітря, як енергоефективна заміна штучному холоду. Як правило, до складу входить блок попереднього осушення повітря і блок випарного охолодження газів і рідин. У осушувальному блоці, що складається з абсорбера і десорбера, використовуються розчини абсорбентів на основі композитів $\text{LiBr} \cdot \text{H}_2\text{O}$ (з добавками, що забезпечують зниження корозійного впливу абсорбенту на конструктивні матеріали). Приклад схемного рішення з включенням в роботу системи повітряного PV/T наведено на рис. 5. Осушення повітря здійснюється в абсорбері, який для підвищення ефективності додатково охолоджується водою від технологічної градирні (в процесі поглинання водяної пари з повітря виділяється тепло і процес осушення протікає з нагріванням, а технологічна градирня забезпечує наближення процесу абсорбції до

ізотермічності). Відновлення концентрації абсорбенту після абсорбера відбувається в десорбері, де потрібно підведення тепла від незалежного джерела на температурному рівні 50 - 80 °С, в залежності від розв'язуваної задачі. Цій меті служить сонячна система з рідинними колекторами на основі багатоканальних і багат шарових полімерних структур, раніше розроблених авторами. В схемі передбачено ряд теплообмінників, що служать для забезпечення внутрішньої регенерації тепла.

Автономність розроблюваних систем забезпечується PV/T модулями, які виконують роль джерела електроенергії для роботи низьконапірних вентиляторів і рідинних насосів, що перекачують воду і розчин абсорбенту. Таким чином, вперше пропонується когенераційна сонячна система енерго-, тепло- і холодопостачання, що забезпечує вироблення як тепла (СКЖ в складі системи гарячого водопостачання об'єктів), так і холоду (випарні охолоджувачі води і повітря у вигляді градирень ГРДт і



*Запитка електричеством вентиляторів и насосов

Рис. 5. Принципова схема сонячної системи кондиціонування повітря ілюструє спосіб охолодження PV / T колекторів потоком всього повітря від градирні технологічного призначення, яка обслуговує абсорбер

випарні охолоджувачі повітря непрямого типу (НВО) в охолоджувальному блоці, а також генерацію електроенергії в PV/T колекторах, що забезпечує повну автономність розроблених сонячних систем.

Інтеграція охолоджуваного фотоелектричного модуля в складі когенераційних систем уявляється особливо перспективною тому що в охолоджувальному блоці системи є холодні викідні потоки води і повітря, які можуть бути використані для забезпечення оптимального температурного режиму роботи PV/T без додаткових витрат на систему охолодження модуля і без шкоди для холодопродуктивності системи. Це стосується використання, наприклад, викидного вологого потоку в градирні технологічного призначення (ГРД / т). обслуговуючої абсорбер (рис. 5). Після ГРД / т температурний рівень повітря істотно нижчий за температуру навколишнього середовища. Також в якості джерела холодних викидних потоків може виступити випарний охолоджувач непрямого типу (НВО), в якому існує холодний але зволожений «допоміжний» повітряний потік, що викидається в середовище.

Описана система охолодження PV / T модулів, як правило, вимагає додаткових енерговитрат, наприклад, на привід вентилятора, що забезпечує рух повітряного потоку в робочому каналі, тобто фактично в такій автономній системі ми додатково вироблену енергію використовуємо для вирішення завдань охолодження фотомодуля. Інтегрування PV / T модулів в складі розроблених сонячних систем забезпечує, поряд з підвищенням їх автономності, зростання ефективності цих систем, оскільки в холодних повітряних потоках, що викидаються в навколишнє середовище вкладена частина енерговитрат, витрачених на організацію роботи системи. У звичайних схемних рішеннях ці холодні потоки від НВО та ГРДт не можуть бути спрямовані в приміщення, яке кондиціонується, оскільки вони мають високу відносну вологість.

PV/T₂ - фототермоелектричні колектори (охолоджувані фотомодулі) рідинного типу; СКЖ - плоскі сонячні колектори рідинного типу; АБР - абсорбер-осушувач; ДБР - десорбер-регенератор; НВО - випарний охолоджувач

непрямого типу; БТА - бак-теплоаккумулятор; Т / О, Т / Оі, Т / ОІІ, Т / ОІІІ – теплообмінники, що забезпечують внутрішню регенерацію тепла; НВ - зовнішнє повітря; О - осушений повітряний потік; ОС, ВС - основний і допоміжний повітряні потоки; В - викидний потік; *p / кр*, *p / сл* - міцний і слабкий розчини абсорбенту; ж - підживлення рециркуляційного підводу води; П - до споживача; А - блок акумуляторних батарей; К - контролер заряду / розряду акумулятора; І - інвертор.

3. Експериментальні дослідження характеристик unglazed PV/T з повітряним охолодженням

Для дослідження ефективності охолоджуваного ФЕП (модуль PV/T), що працює автономно або в складі сонячних систем життєзабезпечення нами розроблений експериментальний стенд (рис. 6).

При такому підході (паралельні і одночасні випробування фотоперетворювачів) для порівнюваних модулів будуть утримуватися однакові зовнішні умови, як за рівнем сонячної активності, так и по вітровому навантаженні на місці розташування експериментального стенду (вітронавантаження робить істотний вплив на рівень сумарних теплових втрат). Розміри порівнюваних модулів однакові по ширині 810 мм, довжині 1620 мм (площа приймальної поверхні 1,3 м²) і відрізняються наявністю повітряного каналу у охолоджуваного модуля PV / T; висота каналу 60 мм. Модуль PV/T забезпечений стабілізаційними ділянками на вході (довжина 300 мм) і виході з робочого каналу (довжина 100 мм, далі ця ділянка переходить в конфузори).

Блок охолодження на вході в повітряний канал являє собою випарний охолоджувач прямого типу (ПІО - direct evaporative cooler, DEC). В ІО блоці реалізується адиабатичний процес випарного охолодження повітря, при якому рідина (вода) рециркулює через насадковий шар, зберігаючи незмінну температуру рівну температурі мокрого термометра зовнішнього повітря. В якості насадки цього тепло-масообмінного апарату ТМА використовується багатоканальна насадочна структура

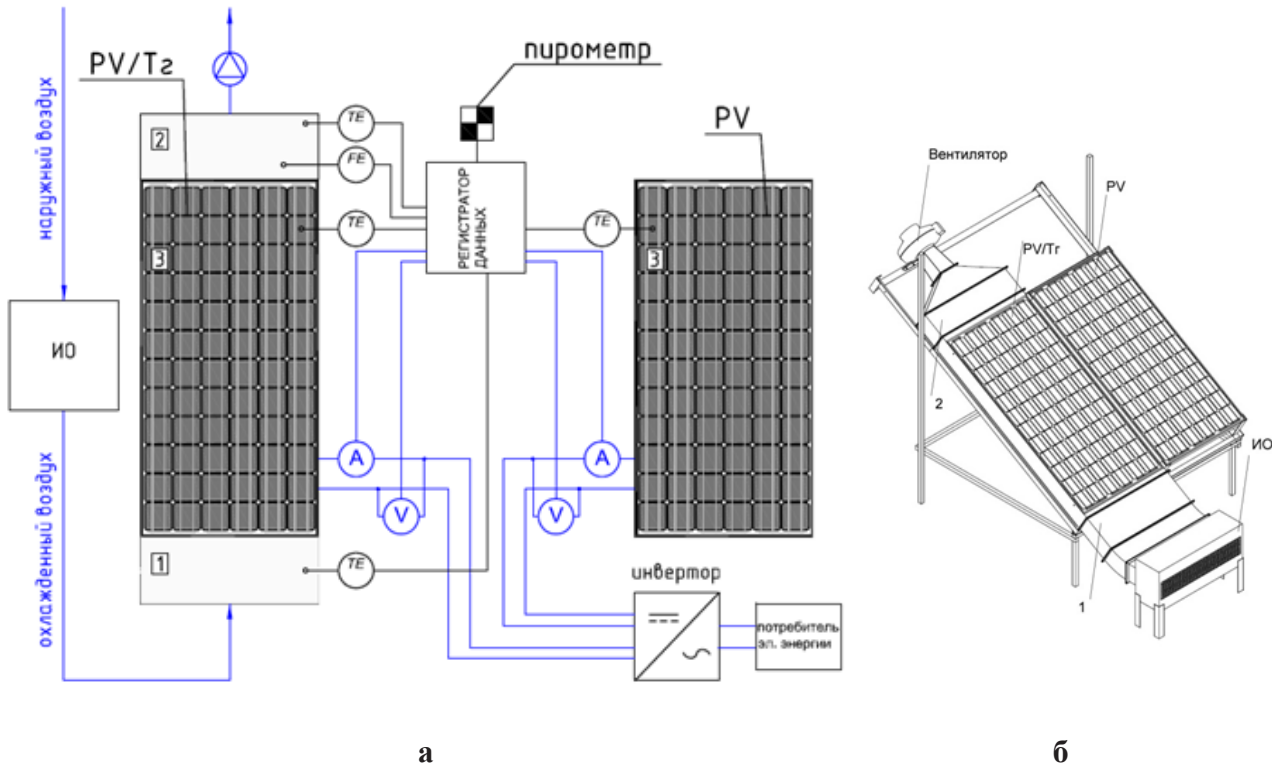


Рис. 6. 1 - Схема экспериментального стенду для порівняльних випробувань енергетичних характеристик і даних по ефективності PV і PV/T модулів. 2 -ізометричний вигляд головної частини.

PV/T₂ - охолоджуваний фотомодуль з повітряним охолодженням; ИО - блок випарного охолодження; TE, FE - датчики температури, витрати (1, 2 - на входному і вихідному вимірювальних ділянках, 3 - на фотоелементі); А, V - вимірювачі вольтамперних характеристик

з полімерного матеріалу з розміром каналу $d_e = 15-25$ мм, при поперечної схемі взаємодії газу і рідини. Розмір насадки становить 500x150 мм по фронту повітряного потоку, при глибині 150 мм. В якості розподільника рідини використовується шар мікропористого матеріалу. Аеродинамічний опір насадки в діапазоні швидкостей повітря в каналах охолоджувача $w_r = 1 - 4,0$ м / с не перевищує 50 Па.

У головній частині стенду розташовані два ідентичних монокристалічних модуля ФЕП - SHOTT PERFORMTM MONO 195, номінальною потужністю 195 Вт кожен (відмінність характеристик $\pm 5\%$). Ефективність такого модуля становить - 17,6%, при TNOCT = 46 °C (NOCT - номінальна робоча температура фотоелемента (при 800 Вт / м², $w_{\text{ветра}} = 1$ м / с, 20 °C).

Проведені порівняльні випробування ФЕП традиційного типу та ФЕП, що охолоджується (на схемі позначені - PV і PV/T₂, відповідно). PV/T₂ охолоджується повітряним пото-

ком, який протікає по каналу прикріпленому з тильного боку панелі. Перш, ніж потрапити в канал, потік охолоджується в блоці випарного охолодження. На виході з повітряного каналу встановлено вентилятор Systemair K160XL потужністю 105 Вт. Комплекс для електричних і теплофізичних вимірювань включає первинну (датчики) і вторинну систему (система збору даних), і забезпечені датчиками: температури повітря (по сухому и мокрому термометрах); витрат повітря на стабілізаційних ділянках повітряного каналу; температури на різних ділянках PV панелей; потоку сонячного випромінювання (пірометр); вольт-амперних характеристик.

Таким чином визначалися базові робочі характеристики порівнюваних модулів при варіюванні основних геометричних і режимних параметрах. При цьому варіюються:

1. Геометричні параметри:
 - висота робочого каналу у PV/T;

- наявність і тип вставок, що перемішують повітряний потік в канал, турбулізуючих повітряний потік в робочому каналі і інтенсифікують відведення тепла від тильної сторони PV/T; вставки можуть розташовуватися на вході в робочий канал і по його довжині, при цьому число вставок може також варіюватися.

В результаті отримуються основні характеристики охолоджуемого фотомодуля з виробленням рекомендацій для підтримки оптимальних параметрів системи повітряного охолодження (автономне використання PV/T). У разі інтеграції фотомодуля в абсорбційну систему (рис. 5) забезпечення необхідних параметрів системи охолодження стосується розрахунку всієї частини сонячної системи.

PV/T₂ - охолоджуваний фотомодуль з повітряним охолодженням; ІВ - блок випарного охолодження; ТЕ, ФЕ - датчики температури, витрати (1, 2 - на входному і вихідному вимірювальних ділянках, 3 - на фотоелементі); А, V - вимірювачі вольтамперних характеристик.

Висновки

Удосконалення сонячних енергетичних систем шляхом інтеграції PV модулів і теплогенеруючих забезпечує суттєве підвищення енергоефективності систем в цілому і є одним з найперспективніших напрямів удосконалення цих систем.

Список використаної літератури

[1]. Lepikh Ya. I., Lenkov S. V., Mokrytskyi V. A., Seliukov O. V., Smyntyna V. A. Napivprovidnykovi ta akustoelektronni optychni sensory i systemy // Monohrafiia. Odesa: Astroprynt, -2009.-275 s. (in Ukrainian).

[2]. Lepikh Ya. I., Lenkov S. V., Mokrytskyi V. A., Lukomskyi D. V., Okhramovych M. M. Uzahalnenyi kompleksnyi pokaznyk yakosti kremniievkykh fotoelektrychnykh peretvoriuvachiv dlia aparatury spetsialnoho pryznachennia // Sensorna elektronika i mikro-systemni tekhnolohii.-2009.- No 4.-S. 44-50. (in Ukrainian).

[3]. Chow T. T. A review on photovoltaic/thermal hybrid solar technology. Applied Energy 87, 2010, pp. 365–379.

[4]. Skoplaki E., Palyvos J. A. Operating temperature of photovoltaic modules: A survey of pertinent correlations. Renewable Energy 34, 2009, pp. 23–29.

[5]. Lepikh Ya. I., Lukomskyi D. V., Lenkov S. V., Mokrytskyi V. A., Monakov S. V. Doslidzhennia vplyvu konstruktyvnykh defektiv na vlastyvoli kremniievkykh fotoelektrychnykh peretvoriuvachiv // Sensorna elektronika i mikro-systemni tekhnolohii.-2005.-No 4.-S. 47-54. (in Ukrainian).

[6]. Tonui J. K., Tripanagnostopoulos Y. Air-cooled PV/T solar collectors with low cost performance improvements. Solar Energy 81, 2007, pp. 498–511.

[7]. Prabhakant, Mishra R. K., Tiwari G. N. Performance of hybrid photovoltaic thermal (HPVT) biogas plant. World Renewable Energy Congress, Linköping, Sweden, 8-13 May 2011, source: <http://www.ep.liu.se/ecp_article/index.en.aspx?issue=057;vol=14;article=018>.

[8]. Fang G., Hu H., Liu H. Experimental investigation on the photovoltaic–thermal solar heat pump air-conditioning system on water-heating mode. Experimental Thermal and Fluid Science 34, 2010, pp. 736–743

Стаття надійшла до редакції 22.08.2020 р.

UDC 536.248.2: 532.529.5

DOI <https://doi.org/10.18524/1815-7459.2020.3.212953>

SOLAR SYSTEMS BASED ON THERMAL AND PHOTOELECTRIC SOLAR ENERGY CONVERTERS

A. V. Doroshenko¹, M. A. Glauberman², Ya. I. Lepikh², A. P. Balaban²

¹V.S. Martynivskii Educational and Scientific Institute of Cold, Cryotechnology and Ecoenergy of Odessa National Academy of Food Technologies, str. Dvoryanska, 1/3, Odessa, 65082.

²Odessa I.I. Mechnikov National University. str. Dvoryanska, 2, Odessa, 65082,

Summary

At the present time, solar heat and power generation systems have become quite widely used as alternative sources of clean energy. However, a systematic analysis of technical solutions to the development of this system, as well as possible areas for improvement, both in terms of improving efficiency and experimental characteristics in the literature, in our opinion, is not enough.

The review article analyzes the technical and operational characteristics of currently developed solar systems based on thermal and photoelectric converters of solar energy and the main areas of improvement of PV/T modules as part of the system.

It is noted that combining a PV panel and a solar collector (PV/T) into one module makes it possible to significantly increase the efficiency of solar / thermal and electrical energy.

The results of developments and researches of these systems received by authors are resulted.

Keywords: photoelectric converters, photocells, PV/T modules, thermal collectors.

УДК 536.248.2: 532.529.5

DOI <https://doi.org/10.18524/1815-7459.2020.3.212953>

СОЛЯЧНІ СИСТЕМИ НА ОСНОВІ ТЕРМІЧНИХ І ФОТОЕЛЕКТРИЧНИХ ПЕРЕТВОРЮВАЧІВ СОЛЯЧНОЇ ЕНЕРГІЇ

А. В. Дорошенко,¹ М. А. Глауберман,² Я. І. Лепіх,² А. П. Балабан²

¹Навчально-науковий інститут холоду, кріотехнологій і екоенергетики ім. В.С. Мартинівського Одеської національної академії харчових технологій, вул. Дворянська, 1/3, Одеса, 65082.

²Одеський національний університет імені І.І. Мечникова, вул. Дворянська, 2, 65082, Одеса

Реферат

На даний час сонячні тепло- і електрогенеруючі системи набули досить широкого застосування, як альтернативні джерела екологічно чистої енергії. Однак системного аналізу технічних рішень досягнутого розвитку цих систем, а також можливих напрямів їх удосконалення, як з точки зору підвищення ефективності роботи, так і експериментальних характеристик, чого в літературі, на наш погляд, недостатньо.

В оглядовій статті проаналізовано технічні і експлуатаційні характеристики розроблених на даний час сонячних систем на основі термічних і фотоелектричних перетворювачів сонячної енергії і основні напрями удосконалення PV/T модулів у складі систем.

Відзначається, що об'єднання PV панелі і сонячного колектора (PV/T) в один модуль дає можливість суттєво підвищити ефективність отримання сонячної/теплової і електричної енергії.

Наведені результати розробок і досліджень цих систем, отриманих авторами.

Ключові слова: фотоелектричні перетворювачі, фотоелементи, PV/T модулі, теплові колектори.

Академік Національної Академії Наук України
ЄЛЬСЬКА ГАННА ВАЛЕНТИНІВНА
(до 80-річчя від дня народження)

Видатний учений у галузі молекулярної біології та біотехнології, доктор біологічних наук (1976), професор (1986), академік НАН України (1992), лауреат Державної премії УРСР з науки і техніки (1986), заслужений діяч науки і техніки України (1998) **Ганна Валентинівна Єльська** народилася 15 жовтня 1940 р. у Донецьку. Після закінчення з відзнакою 1963 р. Донецького медичного університету розпочала свій трудовий шлях на посаді старшого лаборанта, з 1965 по 1968 рр. навчалася в аспірантурі при відділі нуклеїнових кислот Інституту біохімії АН УРСР. 1968 року достроково захистила кандидатську.

З 1973 року працює в Інституті молекулярної біології і генетики НАН України, пройшовши шлях від старшого наукового співробітника (1973), завідувача відділу механізмів трансляції генетичної інформації (1978), заступника директора з наукової роботи (1996), директора Інституту (2003-2019) – до почесного директора, радника при дирекції та головного наукового співробітника відділу структурної і функціональної протеоміки ІМБГ НАН України (з 2019 року – до тепер).

Ганна Валентинівна Єльська являється однією із засновників нового напрямку досліджень у молекулярній біології – регуляції експресії геному вищих еукаріот на рівні трансляції та ролі окремих компонентів апарату трансляції у її втіленні. За наукове явище "функціональної адаптації тРНК" Ганна Єльська у співавторстві отримала 1989 року Диплом на відкриття у Державному Комітеті у справах відкриттів та винаходів СРСР.

Другий напрямок наукової діяльності академіка Г. В. Єльської пов'язаний з молекулярною біоелектронікою та аналітичною біотехнологією. Фундаментальні розробки з вивчення взаємодії біологічних макромолекул з поверхнями електрохімічних електродів, зокрема йоноселективних польових транзисторів, стали базою для створення біосенсорів – нового покоління аналітичних приладів для медичної



діагностики, потреб біотехнології, харчової промисловості та охорони довкілля.

Ганна Валентинівна Єльська створила та багато років успішно керувала науковими школами: "Біосинтез білка у ссавців" та "Молекулярна біоелектроніка", збагативши вітчизняну науку яскравими результатами й талановитими вченими.

Академік Г. В. Єльська зробила неоціненний внесок щодо заснування та розвитку в Україні таких наукових напрямів як геноміка, молекулярна й клітинна біотехнологія, біоінформатика та біомедицина. За заслуги у розвитку біохімії та молекулярної біології їй присуджено Премію НАН України імені О. В. Палладіна (1976).

Творчий доробок вченої – 417 наукових робіт, з них 6 монографій, десятки авторських свідоцтв на винаходи та патентів. Індекс Гірша Г. В. Єльської за наукометричною базою даних Scopus – 39.

Під її науковим керівництвом підготовлено і захищено 28 кандидатських та 6 докторських дисертацій.

У 2003 році за визначні успіхи у впровадженні у практику досягнень науки і передового педагогічного досвіду Ганні Валентинівні присвоєно звання "Відмінник освіти України".

Г. В. Єльська веде велику науково-організаційну та громадську роботу, плідно працюючи віце-президентом Українського біохімічного товариства, головою Спеціалізованої вченої ради із захистів докторських і кандидатських дисертацій при ІМБГ НАН України; членом Вченої ради ІМБГ НАН України; головою Наукової ради НАН України з сенсорних систем та технологій; членом Комітету з присудження Премії Кабінету Міністрів України за розроблення і впровадження інноваційних технологій; членом Комітету з Державних премій України в галузі науки і техніки; членом Міжнародної ради з біотехнології та біорізноманіття МААН; експертом Науково-технічної ради Міністерства освіти і науки з питань формування та виконання державного замовлення на науково-технічну продукцію за пріоритетним напрямом розвитку науки і техніки "Біологія, біотехнології, харчування"; членом Ради з питань науково-технічного розвитку України; експертом Спільного Комітету між Україною та Європейським Союзом з питань науково-технічного співробітництва; керівником науково-технічної програми НАН України "Сенсорні прилади для медико-екологічних та промислово-технологічних потреб: метрологічне забезпечення та дослідна експлуатація", головою групи науково-організаційного супроводу комплексної програми НАН України "Молекулярні та клітинні біотехнології для потреб медицини, промисловості та сільського господарства"; членом персонального складу спеціальної конкурсної комісії з формуван-

ня рейтингового списку кандидатів у члени Ідентифікаційного комітету з питань науки; є головним редактором наукового журналу "Biopolymers and Cell"; членом редакційної колегії наукових журналів "Ukrainica Bioorganica Acta" та "Вісник Українського товариства генетиків і селекціонерів"; членом редакційної ради наукових журналів "Український біохімічний журнал", "Biotechnologia Acta" і нашого журналу.

Академіка Г. В. Єльську відзначено низкою державних та професійних нагород: Почесна Грамота Верховної Ради України (2004), Золота Медаль Української федерації вчених (2005), Відзнака "European Quality Award" та диплом Європейської Бізнес Асамблеї (2009), Відзнака НАН України "За наукові досягнення" (2010), Орден Андрія Первозваного III ступеня (2012), Подяка Прем'єр-міністра України за заслуги у розвитку вітчизняної науки (2013), Ордени княгині Ольги III та II ступенів (2008, 2015), Золота медаль імені В. І. Вернадського НАН України за видатні досягнення в галузі молекулярної біології і біоелектроніки (2016), Премія "Жінка України 2016" у номінації "Наука і освіта" (2017).

З приємністю хочеться відзначити нашу плідну співпрацю університету з інститутом, який очолює шановна Ганна Валентинівна, зокрема у створенні біосенсорів і інтелектуальних систем і у роботі в редколегії нашого журналу, у програмних комітетах міжнародних науково-технічних конференцій «Сенсорна електроніка і мікросистемні технології».

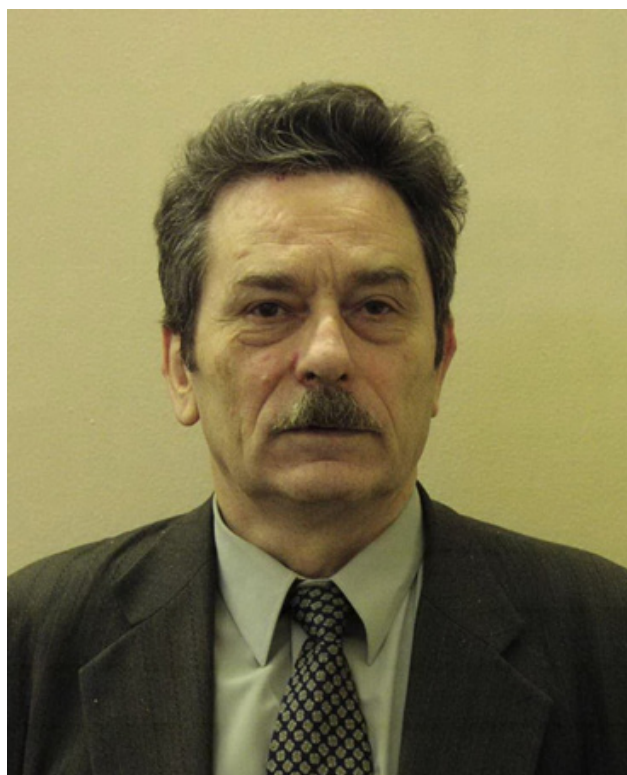
Тож вітаємо Вас, вельмишановна Ганно Валентинівно, із славним Ювілеєм і зичимо Вам добра, здоров'я, щастя, любові, творчого довголіття і подальших наукових звершень!

Редколегія

Член-кореспондент Національної Академії Наук України
СЕРГІЙ МИХАЙЛОВИЧ РЯБЧЕНКО
(до 80-річчя від дня народження)

22 жовтня 2010 р. виповнюється 80 років з дня народження члена-кореспондента НАНУ, доктора фізико-математичних наук, професора, завідувача відділом фізики магнітних явищ Інституту фізики НАН України Сергія Михайловича Рябченка. С. М. Рябченко розпочав свою наукову діяльність в ІФ НАН України з навчання в аспірантурі під керівництвом академіка НАНУ А. Ф. Прихотька, куди він поступив у 1963 році після закінчення Дніпропетровського державного університету. Він багато контактував з членом-кореспондентом НАН України М.Ф. Дейгеним, який у ті роки створював свою наукову школу з досліджень ЕПР і радіоспектроскопії взагалі, і з його співробітниками. Внаслідок такої співпраці у науковому становленні С. М. Рябченка поєдналися певні риси наукових шкіл акад. А. Ф. Прихотька і чл.-кор. М.Ф. Дейгена. В 1968 р. С. М. Рябченко захистив кандидатську дисертацію на тему “Дослідження спин-спінових взаємодій у кристалах методом парамагнітного резонансу”, яка містила експериментальні дослідження форми ліній ЕПР, обумовленої спин-спіновими взаємодіями в кристалах і їх теоретичну обробку.

В період 1967-1990 рр. ним і групою співробітників під його керівництвом (А. Ф. Лозенко, Ф. В. Брагін, Д. Л. Лифар, А. В. Бондар, П. О. Троценко, В. Є. Гончарук та ін.), був виконаний широкий цикл робіт, присвячений властивостям квазідвовимірних кристалів, досліджуваних методами магнітного резонансу (ЕПР, ЯКР, ЯМР, АФМР). Було виявлено внесок згинних коливань таких кристалів у парамагнітну та ядерну спин-граткову релаксацію, особливості критичних явищ при магнітному впорядкуванні низьковимірних магнетиків та їх прояв у магніторезонансних спектрах, досліджено антиферомагнітний резонанс у шаруватих легкоплощинних антиферомагнетиках і виявлено особливості магнітопружних явищ в них. На основі значної частини цих досліджень С. М. Рябченко захистив у 1978 р. докторську дисертацію “Магнітний резонанс квазідвовимірних кристалів”. Дослідження з



цього циклу увійшли до робіт за які в 1991 р. в групі співавторів С. М. Рябченку була присуджена Держпремія України. Певні аспекти цієї тематики залишаються актуальними та привертають увагу С. М. Рябченка і зараз. Серед робіт цього напрямку слід відзначити теоретичну роботу, виконану у 1985 р. спільно з акад. В. Г. Бар'яхтаром і акад. НАН України В. М. Локтевим, в якій було виявлено зміни згинної жорсткості низьковимірних магнітних кристалів. До важливих результатів отриманих у 90-ті роки (спільно з к.ф.-м.н. А. Ф. Лозенко і іншими) слід віднести виявлену магнітопружну природу антиферомагнітних доменів у легкоплощинних шаруватих антиферомагнетиках та пояснення на цій основі аномально сильної вимушеної магнітострикції цих сполук у відносно невеликих зовнішніх полях.

Окремий цикл робіт 80-х років був присвячений магніторезонансним дослідженням неспіврозмірних фаз, що виникають за певних умов в кристалах з структурними фазовими переходами, зокрема сегнетоелектричного і сег-

нетоеластичного типів. Були з'ясовані прояви неспіврозмірності у спектрах ЯКР і ЯМР, виявлено внесок у ядерну спіно-граткову релаксацію особливих збуджень – “фазонів”, притаманних неспіврозмірним структурам. Досліджувалися структурні фазові переходи в кристалах та їх вплив на фізичні властивості сполук.

В 1976-77 рр. С. М. Рябченком із співавторами було вперше виявлено і пояснено, як наслідок носій-іонної обмінної взаємодії, явище гігантського спінового розщеплення електронних енергетичних зон у магнітозмішаних (напівмагнітних) напівпровідниках та гігантське спінове розщеплення екситонних спектральних ліній у цих сполуках. Цей результат важливий особливого відзначення, бо його наслідки, разом з дослідженнями інших авторів, призвели до утворення широкого напрямку на межі фізики напівпровідників і фізики магнітних явищ, присвяченого оптичним, магнітооптичним, транспортним та ін. явищам у магнітозмішаних напівпровідниках, що ведуться в лабораторіях багатьох країн світу. Нове дихання цій тематиці у останні роки (вже у XXI – му столітті) надали перспективи “спінтроніки” - створення напівпровідникових наноприладів, де контрольованим параметром, зміна якого забезпечує функціональні застосування пристрою, є не зарядовий, а спіновий стан певної комірки.

В експериментальних та теоретичних дослідженнях з цього напрямку, проведених С. М. Рябченком спільно з Ю. Г. Семеновим, А. В. Комаровим, О. В. Терлецьким, були визначені параметри носій-іонної обмінної взаємодії для багатьох кристалів (кубічних і гексагональних) на базі сполук $A_{1-x}^2 Me_x B^6$ (де Me- іони Mn, Fe, рідше Co), досліджено вплив флуктуацій складу твердих розчинів на форму екситонних спектрів, з'ясовані питання динамічної взаємодії спінових підсистем вільних носіїв заряду і локалізованих магнітних моментів домішкових іонів, тощо. Спільно з Ю.Г.Семеновим розглянуті теоретичні підстави та експериментальні прояви утворення в цих кристалах вільних та зв'язаних магнітних поляронів. В роботі С. М. Рябченка з проф. Е. А. Пашицьким (1979 р.) було вперше передбачене індуковане носіями струму феромагнітне впорядкування напівмаг-

нітних напівпровідників. Зараз це впорядкування, яке у $A^{III}MnB^V$ має місце при достатньо високих температурах, привертає велику увагу дослідників у багатьох країнах (Японія, США, Німеччина, Франція, Польща, Росія та ін.), як перспективне для спінтронічних застосувань. Дослідження С. М. Рябченка в цьому напрямку продовжуються і зараз. З початку 90-х років центр уваги в них перемістився на напівпровідникові квантоворозмірні наноструктури, створені з використанням напівмагнітних напівпровідників. Дослідження включають міжнародне наукове співробітництво з вченими Росії, Польщі, ФРН, Франції. Проявом цього співробітництва і визнання рівня робіт є 3 гранти INTAS, що були виграні з цієї проблематики. Зроблено внесок в спостереження і пояснення ефекту “парамагнітного підсилення” гігантського спінового розщеплення екситонних ліній у немагнітних квантових ямах (КЯ) з напівмагнітними бар'єрами; спостережено і пояснено додаткові екситонні переходи в асиметричних КЯ, з'ясовано механізми передачі енергії до спінової підсистеми магнітних іонів через взаємодію з двовимірним електронним газом, що створюється у КЯ; розвинуті уявлення про природу поляризаційної анізотропії екситонної люмінесценції, випромінюваної нормально до КЯ, тощо.

Наприкінці 80-х років до тематики робіт С.М.Рябченка додалися дослідження магнітних і магніторезонансних властивостей високотемпературних надпровідників (ВТНП). Зокрема, було встановлено ступеневу (а не експоненційну) температурну залежність часу спіно-граткової релаксації ядер міді при $T < T_c$, що потім знайшло пояснення як прояв D-типу спарювання носіїв у ВТНП, проведені дослідження впливу дефектів на ВТНП, виявлені прояви у ядерній спіновій луні захоплення магнітного потоку вихорами, тощо. Наприкінці 90-х років з цієї проблематики було виграно грант CRDF. Проведені дослідження температурних, кутових та магнітопольових залежностей густини критичного струму у епітаксійних ВТНП наноплівках (товщини 30 – 300 нм) з мозаїчно блоковою структурою і малокутовими межами розділу блоків. В результаті надано пояснення причини, чому густина критичного

струму у таких плівках сягає значень, які на два порядки перевищують цей же параметр для монокристалів. Пояснення дано на основі моделі піннінгу вихорів Абрикосова нормальними до плівки дислокаціями, що утворюють дислокаційні стінки у малокутових межах поділу блоків, яка була запропонована проф. Е. А. Пашицьким і розвинута спільно з ним відповідно до проведених експериментів. Побудована цілісна модель температурних, кутових і польових залежностей критичного струму, зв'язана з параметрами блокової наноструктури.

З початку 2000-х років С. М. Рябченко включається також до досліджень нанорозмірних феромагнітних частинок і структур на їх основі. У цьому напрямі за його участі виконано великий обсяг досліджень нанопорошків манганітів, магнітостатичних, магнітотранспортних і магніторезонансних досліджень наногранулярних плівок, багат шарових магнітних наноструктур, отримані нові фізичні результати з питань проявів міжчастинкової взаємодії у таких структурах, особливостей магнітоопору в них. тощо. Зараз цей напрямок досліджень став одним із головних у науковій роботі очолюваного Рябченком відділу в ІФ НАН України.

В 90-х роках минулого століття С. М. Рябченко включився ще й в наукознавчі дослідження для формування науково-технічної політики, обґрунтування ролі, місця і форм організації науки в Україні за умов громадянського суспільства. Їх результати відбиті у публікаціях у відповідних виданнях, в різних доповідних, у доповідях на конференціях Європейського фізичного товариства, тощо.

С. М. Рябченко, разом із співавторами, опубліковано більше 170 робіт, в тому числі у таких престижних наукових журналах як Письма в ЖЕТФ, ЖЕТФ, Phys.Rev.B, J.Appl. Physics, Solid State Commun., Physica E:Low-dimension. syst. and nanostruct., Physica C: Superconductivity та ін. Цікаві роботи надруковані і в українських журналах УФЖ, ФНТ. С. М. Рябченко неодноразово виступав з запрошеними доповідями на всесоюзних, українських і міжнародних конференціях і школах, входив до складу їх оргкомітетів, зокрема: Українські

наукові конференції з фізики напівпровідників, дві з них проводилися на базі нашого університету, XXVIII Int. school & conf. on Semicond. Phys. Jaszowiec'99, Poland; EPS-11 "Trends in Physics", 6-10 September 1999, London; Europ. Magnet. Material. & Applicat. Conf., June 7-10, 2000, Kyiv, Ukraine; NATO AWR "Opt. Propert. of 2D Systems with Interacting Electrons", St. Petersburg, Russia, 13-16.06. 2002, Spintech-5, Krakow-2009 Poland та ін.

Поряд з науковою роботою С. М. Рябченко брав і бере участь у науково-організаційній та громадській роботі. У 70 - 80-ті роки він вчений секретар секції "Магнетизм" наукової ради АН України з фізики твердого тіла, член цієї ради, зараз її голова. Сергій Михайлович член наукової ради НАН України з фізики напівпровідників, був членом рад з радіоспектроскопії і з фізики магнітних явищ АН СРСР. Він член редколегії Українського фізичного журналу, журналів "Наука і наукознавство", "Наука інновації", а також нашого журналу, був членом Консультаційної ради журналу "Фізика низьких температур", одним з редакторів Centr. Europ. J. Phys., є рецензентом у багатьох фізичних журналах, як вітчизняних, так і зарубіжних. Неодноразово запрошувався до участі у орг-, або програмних комітетах наукових конференцій. У 1997 - 2001 рр. був Президентом Українського фізичного товариства.

В 1989 р. С. М. Рябченко був висунутий колективом ІФ НАН України кандидатом у народні депутати СРСР. Був членом Верховної Ради СРСР, заступником голови комітету ВР СРСР з науки і технологій. У 1991 році його призначено головою Комітету з науково-технічного прогресу при КМ України, котрий згодом був перетворений у Держкомітет України з питань науки і технологій. В структурі Уряду УРСР подібного органу не було, бо науково-технічна політика була в СРСР прерогативою союзної влади. Спираючись на наукову громадськість С. М. Рябченко створив новий для України орган державної влади і проводив створення інших органів, структур і інституцій, необхідних державі з розвиненою наукою, реалізовував державну науково-технічну політику до 1995 р. Під час перебування на виборних та державних посадах він у міру

можливого продовжував фахову наукову роботу, залишаючись керівником лабораторії ІФ НАН України на громадських засадах.

З 80-х років і по сьогодні С. М. Рябченко приділяє значну увагу підготовці фахівців і наукових кадрів і суміщає наукову роботу із читанням лекцій на радіофізичному факультеті Київського університету ім. Тараса Шевченка. Зараз, це спецкурс з магнітних і спин-залежних властивостей твердих тіл. Він читав також курси з магнітних властивостей надпровідників, з магнітного резонансу. Сергій Михайлович керує дипломниками, аспірантами, пошукачами наукових ступенів. Загалом під його керівництвом підготовано 9 кандидатів та 2 доктори фіз.-мат. наук. С. М. Рябченко є серед ініціаторів і одним із заступників керівника Сарбейвського загальнофізичного семінару, що вже давно і регулярно ведеться в ІФ НАНУ. За ці роки він набув статусу загальноміського наукового семінару з фізики, де не рідкість доповідачі і з інших міст і з-за кордону.

З 2019 Сергій Михайлович очолив як голова дуже важливу для української науки інституцію Ідентифікаційний комітет Наукової ради з питань розвитку науки і технологій України і успішно нею керує.

Узагальнюючи відзначені вище наукові здобутки можна стверджувати, що С. М. Рябченко збагатив науку досягненнями світового рівня, визнаними вітчизняною і міжнародною науковою громадськістю. Його громадянська позиція, наукова і науково-організаційна діяльність має позитивний вплив на стан наукового потенціалу України, розвиток у ній фізичної науки.

Ми переконані, що Сергій Михайлович і надалі буде так само плідно працювати на науковій ниві, зберігаючи при цьому активну громадянську позицію.

Вітаємо Вас, вельмишановний Сергію Михайловичу, з Ювілеєм і бажаємо доброго здоров'я, щастя, наснаги, творчого довголіття і нових наукових здобутків!

Редколегія

ІНФОРМАЦІЯ ДЛЯ АВТОРІВ. ВИМОГИ ДО ОФОРМЛЕННЯ СТАТЕЙ У ЖУРНАЛ

Журнал «Сенсорна електроніка і мікросистемні технології» публікує статті, короткі повідомлення, листи до Редакції, а також коментарі, що містять результати фундаментальних і прикладних досліджень, за наступними напрямками:

1. Фізичні, хімічні та інші явища, на основі яких можуть бути створені сенсори
2. Проектування і математичне моделювання сенсорів
3. Сенсори фізичних величин
4. Оптичні, оптоелектронні і радіаційні сенсори
5. Акустoeлектронні сенсори
6. Хімічні сенсори
7. Біосенсори
8. Наносенсори (фізика, матеріали, технологія)
9. Матеріали для сенсорів
10. Технологія виробництва сенсорів
11. Сенсори та інформаційні системи
12. Мікросистемні та нанотехнології (MST, LIGA-технологія та ін.)
13. Деградація, метрологія і сертифікація сенсорів

Журнал публікує також замовлені огляди з актуальних питань, що відповідають його тематиці, поточну інформацію – хроніку, персоналії, платні рекламні повідомлення, оголошення щодо конференцій.

Основний текст статті повинен відповідати вимогам Постанови Президії ВАК України від 15.01.2003 р. №7-05/1 (Бюлетень ВАК України 1, 2003 р.) і бути структурованим. Матеріали, що надсилаються до Редакції, повинні бути написані з максимальною ясністю і чіткістю викладу тексту. У поданому рукописі повинна бути обґрунтована актуальність розв'язуваної задачі, сформульована мета дослідження, міститися оригінальна частина і висновки, що забезпечують розуміння суті отриманих результатів і їх новизну. Автори повинні уникати необґрунтованого введення нових термінів і вузькопрофільних жаргонних висловів.

Редакція журналу просить авторів при направленні статей до друку керуватися наступними правилами:

1. Рукописи повинні надсилатися у двох примірниках українською, або російською, або англійською мовою і супроводжуватися файлами тексту і малюнків на CD. Рукописи, які пропонуються авторами з України або країн СНД до видання англійською мовою обов'язково доповнюються україномовною або російськомовною версією. Електронна копія може бути надіслана електронною поштою.

2. Прийнятні формати тексту: MS Word (rtf, doc).

3. Прийнятні графічні формати для рисунків: EPS, TIFF, BMP, PCX, WMF, MS Word і MS Graf, JPEG. Рисунки створені за допомогою програмного забезпечення для математичних і статистичних обчислень, повинні бути перетворені до одного з цих форматів.

4. На статті авторів з України мають бути експертні висновки про можливість відкритого друку.

Рукописи надсилати за адресою:

Лепіх Ярослав Ілліч, Заст. гол. редактора, Одеський національний університет імені І. І. Мечникова, МННФТЦ (НДЛ-3), вул. Дворянська, 2, Одеса, 65082, Україна.

Телефон / факс +38(048) 723-34-61,

E-mail: semst-journal@onu.edu.ua,

http://semst.onu.edu.ua

Здійснюється анонімне рецензування рукописів статей.

Правила підготовки рукопису:

Рукописи повинні супроводжуватися офіційним листом, підписаним керівником установи, де була виконана робота. Це правило не стосується робіт представлених авторами із закордону чи міжнародними групами авторів.

Авторське право переходить Видавцю.

Титульний аркуш:

1. PACS і Універсальний Десятковий Код Класифікації (УДК) (для авторів із країн СНД) — у верхньому лівому куті. Допускається декілька відділених комами кодів. Якщо ніякі коди класифікації не позначені, код(и) буде(-уть) визначено Редакційною Колегією.

2. Назва роботи (по центру, прописними літерами, шрифт 14pt, жирно).

3. Прізвище (-а) автора(-ів) (по центру, шрифт 12pt).

4. Назва установи, повна адреса, телефони і факси, e-mail для кожного автора, нижче, через один інтервал, окремим рядком (по центру, шрифт 12pt).

5. Анотація: до 1000 символів.

6. Ключові слова: їхня кількість не повинна перевищувати восьми слів. В особливих випадках можна використовувати терміни з двома — чи трьома словами. Ці слова повинні бути розміщені під анотацією і написані тією самою мовою.

П.п. 2,3,4,5,6 послідовно викласти українською, англійською і російською мовами.

Для авторів з закордону, які не володіють українською або російською мовами, пп. 2-5 викладаються англійською мовою.

7. До кожного примірника статті додаються реферати українською та англійською мовами (кожен реферат на окремому аркуші). Особливу увагу слід приділяти написанню резюме статті англійською мовою. Для цього доцільно користуватися послугами кваліфікованих спеціалістів-лінгвістів з подальшим науковим редагуванням тексту автором(-ами). Перед словом «реферат» необхідно написати повну назву статті відповідною мовою, УДК, прізвища та ініціали авторів, назви установ. Реферат обсягом 200-250 слів має бути структурованим: мета (чітко сформульована), методи дослідження, результати дослідження (стисло), узагальнення або висновки.

Після тексту реферату з абзацу розміщуються ключові слова.

8. Текст статті повинен бути надрукований через 1,5 інтервали, на білому папері формату А4. Поля: зліва - 3см, справа - 1,5см, вверху і знизу - 2,5см. Шрифт 12pt. Підзаголовки, якщо вони є, повинні бути надруковані прописними літерами, жирно.

Рівняння повинні бути введені, використовуючи MS Equation Editor або MathType. Роботи з рукописними вставками не приймаються. Таблиці повинні бути представлені на окремих аркушах у форматі відповідних текстових форматів (див. вище), чи у форматі тексту (з колонками, відділеними інтервалами, комами, крапкам з комою, чи знаками табулювання).

9. У кінці тексту статті указати прізвища, імена та по батькові усіх авторів, поштову адресу, телефон, факс, e-mail (для кореспонденції).

10. Список літератури повинен бути надрукований через 1,5 інтервали, з літературою, пронумерованою в порядку її появи в тексті. Бібліографія друкується лише латиницею (кирилиця подається в транслітерації). Порядок оформлення літератури повинен відповідати вимогам ВАК України, наприклад:

[1]. I.M. Cidilkov skii. *Elektrony i dyrki v poluprovodnikah*. Nauka, M. 450 s. (1972).

[2]. J.A. Hall. *Imaging tubes*. Chap. 14 in *The Infrared Handbook*, Eds. W.W. Wolfe, G.J. Zissis, pp. 132-176, ERIM, Ann Arbor, MI (1978).

[3]. N. Blutzer, A.S. Jensen. *Current readout of infrared detectors // Opt. Eng.*, 26(3), pp. 241-248 (1987).

11. Підписи до рисунків і таблиць повинні бути надруковані в рукописі з двома пробілами після списку літератури. Виносок, якщо можливо, бажано уникати.

Приймаються тільки високоякісні рисунки. Написи і символи повинні бути надруковані усередині рисунку. Негативи, слайди, і діапозитиви не приймаються.

Кожен рисунок повинен бути надрукований на окремому аркуші і мати розмір, що не перевищує 160x200 мм. Для тексту на рисунках використовуйте шрифт 10pt. Одиниці виміру повинні бути позначені після коми

(не в круглих дужках). Усі рисунки повинні бути пронумеровані в порядку їх появи в тексті, з частинами позначеними як (а), (б), і т.д. Розміщення номерів рисунків і напису усередині малюнків не дозволяються. Зі зворотної сторони, напишіть олівцем назву, прізвище(а) автора(-ів), номер малюнка і позначте верх стрілкою.

Фотографії повинні бути оригінальними. Кольоровий друк можливий, якщо його вартість сплачується авторами чи їх спонсорами.

12. Стаття має бути підписана автором (усіма авторами) з зазначенням дати на останній сторінці.

Автори несуть повну відповідальність за бездоганне мовне оформлення тексту, особливо за правильну наукову термінологію (її слід звіряти за фаховими термінологічними словниками).

13. Датою надходження статті вважається день, коли до редколегії надійшов остаточний

варіант статті після рецензування.

Після одержання коректури статті автор повинен виправити лише помилки (чітко, синьою або чорною ручкою неправильно закреслити, а поряд з цим на полі написати правильний варіант) і терміново відіслати статтю на адресу редколегії електронною поштою.

Підпис автора у кінці статті означає, що автор передає права на видання своєї статті редакції. Автор гарантує, що стаття оригінальна; ні стаття, ні рисунки до неї не були опубліковані в інших виданнях.

Відхилені статті не повертаються.

До уваги авторів

Міжнародна агенція ISSN встановила скорочену назву нашого журналу «**Sens. elektron. mikrosist. tehnol.**» Просимо Вас у своїх посиланнях і бібліографічних даних статей використовувати саме таку назву оскільки по ній буде здійснюватися посилання на Вашу статтю.

INFORMATION FOR AUTHORS

THE REQUIREMENTS ON PAPERS PREPARATION

Journal «Sensor Electronics and Microsystem Technologies» publishes articles, brief messages, letters to Editors, and comments containing results of fundamental and applied researches, on the following directions:

1. Physical, chemical and other phenomena, as the bases of sensors
2. Sensors design and mathematical modeling
3. Physical sensors
4. Optical, optoelectronic and radiation sensors
5. Acoustoelectronic sensors
6. Chemical sensors
7. Biosensors
8. Nanosensors (physics, materials, technology)
9. Sensor materials
10. Sensors production technologies
11. Sensors and information systems
12. Microsystems and nano- technologies (MST, LIGA-technologies et al.)
13. Sensor's degradation, metrology and certification

The journal publishes the custom-made reviews on actual questions appropriate to the mentioned subjects, current information – chronicle, special papers devoted to known scientists, paid advertising messages, conferences announcements.

The basic article text should meet the SAC Ukraine Presidium Decree requirements from 15.01.2003 № 7-05/1 (SAC Bulletin № 1, 2003) and be structured. The materials sent to Editors, should be written with the maximal text presentation clearness and accuracy. In the submitted manuscript the actuality of problem should be reflected, the purpose of the work should be formulated. It must contain an original part and conclu-

sions providing the received results essence and their novelty understanding. The authors should avoid the new terms and narrow profile jargon phrase unreasonable introduction.

Journal Edition asks authors at a direction of articles in a print to be guided by the following rules:

1. Manuscripts should be submitted in duplicate in Ukrainian, English, or Russian, a hard copy and supplemented with a text file and figures on a CD. Manuscripts which are offered by authors from Ukraine or CIS countries to the edition in English are necessarily supplemented by Ukrainian or Russian version. An electronic copy may be submitted by e-mail.

2. Acceptable text formats: MS Word (rtf, doc).

3. Acceptable graphic formats for figures: EPS, TIFF, BMP, PCX, CDR, WMF, MS Word and MS Graf, JPEG. Figures created using software for mathematical and statistical calculations should be converted to one of these formats.

4. For articles of authors from Ukraine there should be expert conclusions about an opportunity of an open print.

Manuscripts should be sent to:

Lepikh Yaroslav Illich, The Vice Editor, Odesa National I.I. Mechnikov University, ISEPTC (RL-3), str. Dvoryanskaya, 2, Odesa, 65082, Ukraine.

Phone/fax +38(048) 723-34-61,

E-mail: semst-journal@onu.edu.ua,

http://semst.onu.edu.ua

Manuscripts of articles anonymous reviewing is carried out

The manuscript preparation rules:

The manuscripts should be supplemented with the Official letter signed by a chief manager of the institution where the work was performed. This rule does not apply to papers submitted by authors from abroad or international groups of authors.

Copyright transfer to the Publisher.

Title Page:

1. PACS and Universal Decimal Classification code (for authors from CIS) in the top left corner. Several comma-separated codes are allowed. If no classification codes are indicated, the code(s) will be assigned by the Editorial Board.

2. Title of the paper (central, capital, bold, 14pt).

3. Name (-s) of the author(-s) below, in one space (central, normal face, 12pt).

4. Name of affiliated institution, full address, phone and fax numbers, e-mail addresses (if available) for each author below, in one space (central, normal face, 12pt).

5. Abstract: up to 1000 characters.

6. Keywords: its amount must not exceed eight words. In the specific cases it is acceptable to use two- or three-word terms. These words must be placed under the abstract and written in the same language.

Items 2,3,4,5,6 must be presented in series in Ukrainian, English and Russian languages.

For authors from abroad which do not know Ukrainian or Russian languages, items 2-5 may be presented only in English.

7. To each copy of the article abstracts in Ukrainian and the English language are applied (each abstract on a separate sheet). The special attention should be given to the writing of the article summary in English. For this purpose it is expedient to use the qualified experts - linguists with the further scientific editing the text by the author (-s). Before the word "abstract" it is necessary to write the full article name by the appropriate language, UDC, surnames and the initials of the authors, names of affiliated institutions. The abstract in volume of 200-250 words must be structured: the purpose (precisely formulated), research methods and results (shortly), generalizations or conclu-

sions. After the text of the abstract from the item key words are placed.

8. Article text should be printed 1,5-spaced on white paper A4 format with a 12pt, margins: left — 3sm, right — 1,5, upper and lower — 2,5sm. Titles of the sections if it is present should be typed bold, capitals.

Equations should be entered using MS Equation Editor or MathType. Papers with handwritten equations are not accepted. Notations should be defined when the first appearing in the text.

Tables should be submitted on separate pages in the format of appropriate text formats (see above), or in the text format (with columns separated by interval, commas, or tabulation characters).

9. At the article text end one must indicate surnames, names and patronymics of all authors, the mail address, the phone, a fax, e-mail (for the correspondence).

10. List of references should be 1,5-spaced, with references numbered in order of their appearance in the text. The bibliography is printed only by the roman type (cyrillics represents in transliteration).

The literature registration order should conform to DAS of Ukraine requirements, for example:

[1]. I.M. Cidilkov skii. *Elektrony i dyrki v poluprovodnikah*. Nauka, M. 450 s. (1972).

[2]. J.A. Hall. *Imaging tubes*. Chap. 14 in *The Infrared Handbook*, Eds. W.W. Wolfe, G.J. Zissis, pp. 132-176, ERIM, Ann Arbor, MI (1978).

[3]. N. Blutzer, A.S. Jensen. *Current readout of infrared detectors* // *Opt. Eng.*, 26(3), pp. 241-248 (1987).

11. Figures and tables captions should be printed in the manuscript double-spaced after the list of references. Footnotes should be avoided if possible.

Only high-quality pictures can be accepted. Inscriptions and symbols should be printed inside picture. Negatives, and slides are not accepted.

Each figure should be printed on a separate page and have a size not exceeding 160x200 mm. For text inside figures, use 10pt. Measurement

units should be indicated after a comma (not in blankets). All figures are to be numbered in order of its appearance in the text, with sections denoted as (a), (b), etc. Placing the figure numbers and captions inside figures is not allowed. On the backside, write with a pencil the paper title, author(s) name(s) and figure number, and mark the topside with an arrow.

Photographs should be submitted as original prints. Color printing is possible if its cost is covered by the authors or their sponsors.

12. The article must be signed by author (all authors) with the date indication on the last page.

Authors bear full responsibility for irreproachable language make out of the text, especially for a correct scientific terminology (it should be verified under terminological dictionaries of the appropriate speciality).

13. The date of article acceptance is that one when the final variant comes to the publisher after a prepublication review.

After obtaining the proof sheet the author should correct mistakes (clearly cancel incorrect variant with blue or black ink and put the correct variant on border) and send urgently the revised variant to the editor by e-mail.

Author's signature at the article end vouches that author grants a copyright to the publisher. Author vouches that the work has not been published elsewhere, either completely, or in part and has not been submitted to another journal.

Not accepted manuscripts will not be returned.

To author attention

International agency ISSN has established our Journal shortcut – «**Sens. elektron. mikrosist. tehnol.**» We ask you in your references and article bibliographic dates use such name as on it the reference to your article will be carried out.

Комп'ютерне верстання – С. О. Остапенко

Підп. до друку 16.09.2020. Формат 60×84/8.
Ум.-друк. арк. 7,44. Тираж 300 пр.
Зам. № 2149.

Видавець і виготовлювач
Одеський національний університет імені І. І. Мечникова

Свідоцтво суб'єкта видавничої справи ДК № 4215 від 22.11.2011 р.

Україна, 65082, м. Одеса, вул. Єлісаветинська, 12
Тел.: (048) 723 28 39