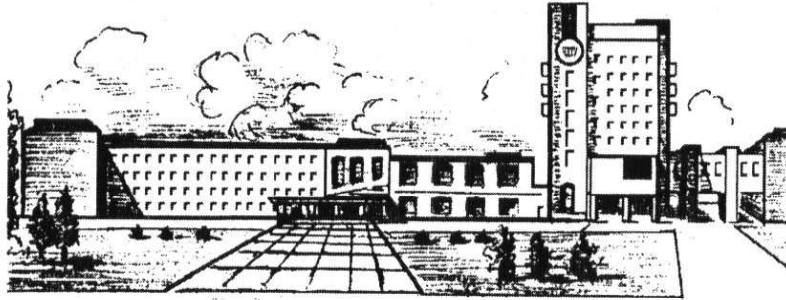


ISSN 2411-5363 (print)
ISSN 2519-4569 (online)

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ
ЧЕРНІГІВСЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ ТЕХНОЛОГІЧНИЙ УНІВЕРСИТЕТ



ТЕХНІЧНІ НАУКИ ТА ТЕХНОЛОГІЇ

НАУКОВИЙ ЖУРНАЛ

№ 1 (19)



Чернігів 2020

Друкується за рішенням вченої ради Чернігівського національного технологічного університету (протокол № 3 від 27.04.2020 р.). Науковий журнал «Технічні науки та технології» внесено до переліку наукових фахових видань України, затвердженого Наказом Міністерства освіти і науки України від 11.07.2019 р. № 975, відповідно до якого журналу надано категорію «Б».

Т38 **Технічні науки та технології** : науковий журнал / Чернігів. нац. технол. ун-т. – Чернігів : ЧНТУ, 2020. – № 1 (19). – 346 с.

У цьому випуску журналу «Технічні науки та технології» вміщено статті, присвячені теоретичним та експериментальним дослідженням у науковому напрямі «Технічні науки» за спеціальностями: прикладна механіка, матеріалознавство, машинобудування, інформаційно-комп'ютерні технології, енергетика, електротехніка та електромеханіка, хімічні та харчові технології, будівництво та геодезія. Статті прорецензовані провідними вченими у відповідних галузях знань.

Журнал «Технічні науки та технології» буде корисним для науковців, науково-педагогічних працівників, докторантів, аспірантів та студентів технічних спеціальностей закладів вищої освіти.

УДК 62:67.05

Головний редактор:

Казимир В. В., доктор технічних наук, професор, Чернігівський національний технологічний університет.

Заступник головного редактора:

Сапон С. П., кандидат технічних наук, доцент, Чернігівський національний технологічний університет.

Члени редакційної колегії:

Прикладна механіка, матеріалознавство та машинобудування

Бойко С. В., кандидат технічних наук, доцент, Чернігівський національний технологічний університет;

Болотов Г. П., доктор технічних наук, професор, Чернігівський національний технологічний університет;

Дубенець В. Г., доктор технічних наук, професор, Чернігівський національний технологічний університет;

Срошенко А. М., кандидат технічних наук, доцент, Чернігівський національний технологічний університет;

Кальченко В. І., доктор технічних наук, професор, Чернігівський національний технологічний університет;

Кальченко В. В., доктор технічних наук, професор, Чернігівський національний технологічний університет;

Новомлинець О. О., доктор технічних наук, професор, Чернігівський національний технологічний університет;

Пилипенко О. І., доктор технічних наук, професор, Чернігівський національний технологічний університет.

Інформаційно-комп'ютерні технології

Азаров О. Д., доктор технічних наук, професор, Вінницький національний технічний університет;

Вархола Міхал, доктор технічних наук, професор, Технічний університет в Кошице (Словаччина);

Джон Н. Девис, доктор технічних наук, професор, університет Глиндор, Рексем, Великобританія;

Зайцев С. В., доктор технічних наук, доцент, Чернігівський національний технологічний університет;

Литвинов В. В., доктор технічних наук, професор, Чернігівський національний технологічний університет.

Енергетика, електротехніка та електромеханіка

Вінніков Д., доктор технічних наук, професор, Таллінський університет технологій (Естонія);

Волков І. В., доктор технічних наук, професор, Інститут електродинаміки НАН України;

Галкін І., доктор технічних наук, професор, Ризький технічний університет (Латвія);

Гусев О. О., кандидат технічних наук, доцент, Чернігівський національний технологічний університет;

Денисов Ю. О., доктор технічних наук, професор, Чернігівський національний технологічний університет;

Ромеро-Кадалвал Е., доктор технічних наук, професор, Університет Естремадури (Іспанія);

Скоробогатова В. І., доктор технічних наук, професор, Чернігівський національний технологічний університет.

Хімічні та харчові технології

Самохвалова О. В., кандидат технічних наук, професор, Харківський державний університет харчування та торгівлі;

Сиза О. І., доктор технічних наук, професор, Чернігівський національний технологічний університет;

Цибуля С. Д., доктор технічних наук, професор, Чернігівський національний технологічний університет;

Челябієва В. М., кандидат технічних наук, доцент, Чернігівський національний технологічний університет.

Будівництво та геодезія

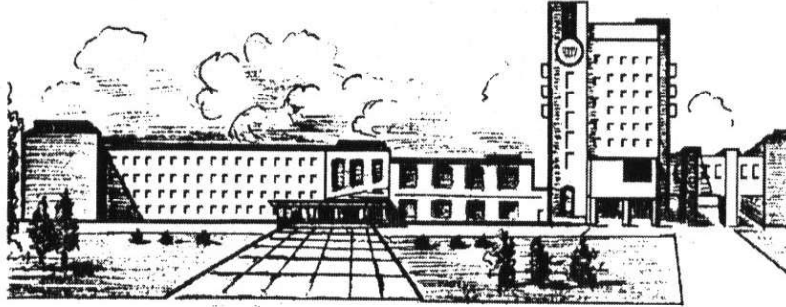
Вінніков Ю. Л., доктор технічних наук, професор, Полтавський національний технічний університет;

Шульць Р. В., доктор технічних наук, професор, Київський національний університет будівництва і архітектури.



ISSN 2411-5363 (print)
ISSN 2519-4569 (online)

**MINISTRY OF EDUCATION AND SCIENCE OF UKRAINE
CHERNIHIV NATIONAL UNIVERSITY OF TECHNOLOGY**



TECHNICAL SCIENCES AND TECHNOLOGIES

SCIENTIFIC JOURNAL

ISSUE № 1 (19)

Chernihiv 2020

UDC 62:67.05

DOI: 10.25140/2411-5363-2020-1(19)

Published by the decision of the Academic Council of the Chernihiv National University of Technology (protocol № 3 dated 27.24.2020). Scientific journal “Technical sciences and technologies” is included into the list of scientific specialized editions of Ukraine, approved by the Order of the Ministry of Education and Science of Ukraine dated July 11, 2019 № 975, according to which magazine is assigned a category «B».

Technical sciences and technologies: scientific journal / Chernihiv National University of Technology. – Chernihiv : Chernihiv National University of Technology, 2020. – № 1 (19). – 346 p.

This issue of the journal “Technical sciences and technologies” contains articles devoted to theoretical and experimental research in the scientific direction “Technical Sciences” by specialties: applied mechanics, materials science and machine building, information and computer technologies, power engineering, electrical engineering and electromechanical engineering, chemical and food technologies, construction and geodesy. The articles are reviewed by leading scientists in relevant fields of knowledge.

Journal “Technical sciences and technologies” will be useful for the scientific and technical workers, postgraduates, master students and students of higher technical educational establishment.

UDC 62:67.05

Editor in chief:

Kazymyr V. V., Doctor of Technical Sciences, Professor, Chernihiv National University of Technology (ChNUT).

Deputy Editor in chief:

Sapon S. P., PhD in Technical Sciences, Associate Professor; ChNUT.

Members of the Editorial Board:

Applied mechanics, materials science and machine building

Boyko S. V., PhD in Technical Sciences, Associate Professor; ChNUT;

Bolotov H. P., Doctor of Technical Sciences, Professor; ChNUT;

Dubenets V. H., Doctor of Technical Sciences, Professor, ChNUT;

Yeroshenko A. M., PhD in Technical Sciences, Associate Professor; ChNUT.

Kalchenko V. I., Doctor of Technical Sciences, Professor; ChNUT;

Kalchenko V. V., Doctor of Technical Sciences, Professor; ChNUT;

Novomlynets O. O., Doctor of Technical Sciences, Professor; ChNUT;

Pilipenko O. I., Doctor of Technical Sciences, Professor, ChNUT.

Information and computer technologies

Azarov O. D., Doctor of Technical Sciences, Professor, Vinnytsia National Technical University;

Varchola Michal, Professor, President of the Academic society of Michal Baludansky, Slovakia;

John N. Davies, Professor, Department of Computer Science, Glyndwr University, Wrexham, U.K.;

Zaitsev S. V., Doctor of Technical Sciences, ChNUT;

Lytvynov V. V., Doctor of Technical Sciences, Professor; ChNUT.

Power engineering, electrical engineering and electromechanical engineering

Vinnikov D., Doctor of Science, Senior Researcher, Head of Power Electronics R&D Group, Tallinn University of Technology, Tallinn, Estonia;

Volkov I. V., Doctor of Technical Sciences, Professor, Institute of Electrodynamics of the National Academy of Sciences of Ukraine;

Galkin I., Doctor of Science, Professor, Riga Technical University, Riga, Latvia;

Husev O. O., PhD in Technical Sciences, Associate Professor; ChNUT;

Denysov Yu. A., Doctor of Technical Sciences, Professor; ChNUT;

Romero-Cadaval E., Doctor of Science, Professor, University of Extremadura, Badajoz, Spain;

Skorobohatova V. I., Doctor of Technical Sciences, Professor; ChNUT.

Chemical and food technologies

Samokhvalova O. V., PhD in Technical Sciences, Professor, Kharkiv State University of Food Technology and Trade;

Syza O. I., Doctor of Technical Sciences, Professor; ChNUT;

Tsybulia S. D., Doctor of Technical Sciences, Professor; ChNUT;

Cheliabiiieva V. M., PhD in Technical Sciences, Associate Professor, ChNUT.

Construction and geodesy

Vynnykov Y. L., Doctor of Technical Sciences, Professor, Poltava National Technical Yuri Kondratyuk University;

Shults R. V., Doctor of Technical Sciences, Professor, Kyiv national university of construction and architecture.



ЗМІСТ

РОЗДІЛ I. ПРИКЛАДНА МЕХАНІКА, МАТЕРІАЛОЗНАВСТВО
ТА МАШИНОБУДУВАННЯ

<i>Болотов М., Болотов Г.</i> Визначення меж енергетичної стабільності тліючого розряду в умовах зварювального нагріву	9
<i>Пилипенко О., Колесник Д., Березняк А.</i> Точність та погрешності зубчастих передач вертольотних редукторів	18
<i>Лебедєв В., Дубовий О., Лой С.</i> Особливості формування (структурування) та властивості теплозахисних покриттів при плазмовому напиленні	32
<i>Мурашківська В., Подзолкіна А., Скляр В., Сиводід О.</i> Аналіз тенденцій розвитку міського громадського транспортного середовища	42
<i>Борак К.</i> Прогнозування зміни абразивних властивостей ґрунтів для забезпечення надійної експлуатації робочих органів	53
<i>Захарова І., Роянов В.</i> Обґрунтування конструктивних особливостей пульсатора для забезпечення пульсуючого розпилюючого потоку повітря при дуговій металізації	65
<i>Кальченко В., Кальченко В., Венжега В., Винник В.</i> Модернізація універсально-заточувального верстата з ЧПК ВЗ208ФЗ для високошвидкісного фрезерування поверхонь обертання	72
<i>Литвин О., Паньков С.</i> Роботизовані маніпулятори особливого призначення	81
<i>Стельмах Н., Сапон С., Рижук Я.</i> Вибір оптимального технологічного процесу на базі автоматизованої оцінки його техніко-економічних параметрів	89

РОЗДІЛ II. ІНФОРМАЦІЙНО-КОМП'ЮТЕРНІ ТЕХНОЛОГІЇ

<i>Стеценко І., Савчук В.</i> Метод автоматизації тестування на проникнення вебатак	98
<i>Смірнова Т.В.</i> Формалізація та реалізація структури технологічного процесу електродугового напилення для оптимізаційної експертної системи	104
<i>Хорошко В., Шелест М., Ткач Ю.</i> Багатокритеріальна оцінка ефективності проєктів із забезпечення кібербезпеки	114
<i>Lytyunov V., Dorosh M., Bilous I., Voitsekhovska M., Nekhai V.</i> Development of the automated information system for organization's information security culture level assessment	124
<i>Дубягін О., Гур'єв В., Фірсова І.</i> Ефективність керуючого впливу на структурований об'єкт як числова характеристика міжрівневого балансу	133
<i>Корнієнко С., Корнієнко І., Дмитрієв В., Павленко А., Камак Д.</i> Формування кількісних характеристик випробувань для одержання точкових оцінок заданої якості	140

РОЗДІЛ III. ЕНЕРГЕТИКА, ЕЛЕКТРОТЕХНІКА ТА ЕЛЕКТРОМЕХАНІКА

<i>Сатюков А., Приступа А., Мошель М.</i> Результати експериментальних досліджень впливу вологості дерев'яних матеріалів на проходження сигналів НВЧ діапазону	156
<i>Сінчук О., Бойко С., Городній О., Некрасов А., Онищенко А., Ножнова М.</i> Аспекти впровадження сонячних електростанцій в умовах гірничорудних підприємств	168
<i>Єршов Р., Войтенко В.</i> Частотно-імпульсний модулятор з адаптивною корекцією тривалості імпульсу	177
<i>Sobianin I., Skonechnyi V., Yarova I.</i> Portable electrocardiograph with GSM module for telemedicine	191
<i>Abdulhamid M., Peter D.</i> Remote health monitoring: fall detection	199
<i>Губаревич О., Гулак С., Горобченко О., Скляренко І.</i> Уточнений підхід до розрахунку втрат тягового двигуна пульсуючого струму	206

РОЗДІЛ IV. ХІМІЧНІ ТА ХАРЧОВІ ТЕХНОЛОГІЇ

<i>Миколенко С., Захаренко А.</i> Дослідження впливу амарантового та льняного борошна на якість печива	228
--	-----

CONTENT

SECTION I. APPLIED MECHANICS, MATERIALS SCIENCE AND MACHINE BUILDING

<i>Bolotov M., Bolotov G.</i> Criteria determination of the borders of glow discharge energy stability in the welding heating conditions.....	9
<i>Pilipenko O., Kolesnik D., Berezniak A.</i> Exactness and errors of gearing of helicopter reducing gears	18
<i>Lebediev V., Dubovyi O., Loi S.</i> Formation (structuring) features and properties of heat protective coatings for plasma spraying.....	32
<i>Murashkovska V., Podzolkina A., Sklyar V., Syvodid O.</i> Analysis of the development trends of city public transport environment.....	42
<i>Borak K.</i> The prognostication of the change in soils abrasive properties to ensure the reliable operation of working bodies.....	53
<i>Zakharova I., Royanov V.</i> Objective reasoning of pulsator design features for the provision of pulsating spraying air flow during arc metallization	65
<i>Kalchenko V., Kalchenko V., Venzhega V., Vinnik V.</i> Modernization of the universal-binding machine with chpc VZ208F3 with the purpose of extension of technological possibilities for high-speed fresh machine	72
<i>Litvin O., Pankov S.</i> Robotic manipulators special purpose	81
<i>Stelmakh N., Sapon S., Ryzhuk Ya.</i> Selection of optimal technological process on the basis of automated assessment of its technical and economic parameters.....	89

SECTION II. INFORMATION AND COMPUTER TECHNOLOGIES

<i>Stetsenko I., Savchuk V.</i> Automating web attack penetration testing method	98
<i>Smirnova T.</i> Formalization and implementation of the structure of the technological process of electric ARC spraying for the optimization experts system.....	104
<i>Khoroshko V., Shelest M., Tkach Yu.</i> Multi-criteria assessment of the project efficiency of cyber security provisions	114
<i>Lytvynov V., Dorosh M., Bilous I., Voitsekhovska M., Nekhai V.</i> Development of the automated information system for organization's information security culture level assessment	124
<i>Dubyagin A., Guryev V., Firsova I.</i> Efficiency of managing impact on a structured object as a numerical characteristic of inter-level balance	133
<i>Korniienko S., Korniienko I., Dmytriiev V., Pavlenko A., Kamak D.</i> Formation of tests quantitative characteristics to obtain point quality assessments	140

SECTION III. POWER ENGINEERING, ELECTRICAL ENGINEERING AND ELECTROMECHANICAL ENGINEERING

<i>Satukov A., Prystupa A., Moshel M.</i> Results of experimental research on the influence of wood material moisture on the transmission of UHF band signals	156
<i>Sinchuk O., Boiko S., Gorodny O., Nekrasov A., Onishchenko A., Nozhnova M.</i> Aspects of implementation of solar power plants in the conditions of mining enterprises.....	168
<i>Yershov R., Voytenko V.</i> Pulse-frequency modulator with adaptive pulse duration correction	177
<i>Sobianin I., Skonechnyi V., Yarova I.</i> Portable electrocardiograph with GSM module for telemedicine	191
<i>Abdulhamid M., Peter D.</i> Remote health monitoring: fall detection	199
<i>Gubarevych O., Goolak S., Gorobchenko O., Skliarenko I.</i> Refined approach to the losses calculation of pulsating current traction engine.....	206

SECTION IV. CHEMICAL AND FOOD TECHNOLOGIES

<i>Mykolenko S., Zaharenko A.</i> Effect of amaranth and flaxseed flour on cookies quality	228
<i>Protsan N., Tkachenko L.</i> Activating of enzymes while tenderizing of rye batches of high concentration while while tenderizing of rye batches of rye batches	241

Ihor Sobianin, Valerii Skonechnyi, Inna Yarova

PORTABLE ELECTROCARDIOGRAPH WITH GSM MODULE FOR TELEMEDICINE

Urgency of the research. *The principles of telemedicine need to be put into practice of emergency medical care and family medicine, so there is a need for diagnostic medical equipment with the ability of data transfer and remote consulting with subject matter experts.*

Target setting. *Currently, ECG testing consumes the time to prepare the device for work, needs for the personal computer as the additional equipment and requires highly skilled staff. The development of portable electrocardiographic equipment with built-in means of communication is a task of current importance for biomedical engineering.*

Actual scientific researches and issues analysis. *The current researches in the development of portable cardiograph for primary preclinical diagnostics are focused on the choice of optimal design parameters of device and the incensement of noise immunity of medical equipment.*

Uninvestigated parts of general matters defining. *This article focuses on the design development of the portable electrocardiograph with built-in GSM module for operation in telemedicine systems.*

The research objective *is the design of the portable electrocardiograph for telemedicine that has a convenient interface for device control, is equipped with means of communication with cardiac care centers, has universal ports for information output to external drives and connection of additional devices, is as ergonomic as possible, meets safety, reliability and energy efficiency requirements.*

The statement of basic materials. *The main design requirements to portable electrocardiographic equipment are formulated. The basic functional units of the device are chosen and its electronic block diagram is synthesized. The computer simulation of processes and parameters of the circuitry of the instrumentation amplifier functionality at given operating temperatures proves the validity of proposed circuit design. The constructive implementation of the schematic diagram is designed. The device constructive parameters that meet the requirements of telemedicine most closely are defined.*

Conclusions. *The key features of the designed portable electrocardiograph with GSM module are: the embodiment in folding form-factor, the availability of GSM module, the constant connection of ECG electrodes via integrated ECG cable. The embodiment in folding form-factor optimizes ergonomic characteristics of the device. The replacement of non-integral ECG cable with integrated one reduces the intensity of internal noise and reduces time to prepare the device for work. Built-in GSM module provides affordable communication with specialized medical facilities, thus reducing the duration of the diagnostics and increasing the efficiency of the medical care in non-ambulatory out-hospital an outpatient setting.*

Keywords: *electrocardiography; portable electrocardiograph; telemedicine; GSM module; data transfer; folding form-factor; integrated ECG cable.*

Fig.: 4. References 17.

Urgency of the research. The cardiovascular disease (CVD) is the most common type of noncommunicable diseases worldwide. According to the WHO, deaths from CVD make up 31% in the structure of all-cause mortality. This issue is extremely relevant for Ukraine too that takes the first place among European countries in terms of incidence and mortality from CVD [1]. The concept of combating CVD provides a universal health coverage that includes the mandatory electrocardiography in Ukraine. It can take two forms: the routine testing carried out in an outpatient setting and unscheduled non-ambulatory express-ECG in providing the emergency medical care or in suspected case of CVD.

The portable electrocardiograph with the function of data transfer to the specialized medical facilities is necessary for a real-time unscheduled assessment of the patient's condition. It is proven that preclinical diagnostics and immediate care in case of acute manifestations of the CVD increase the effectiveness of further treatment.

The urgency of this research is to develop the design of the portable electrocardiograph (PEC) intended for use in telemedicine – in family medicine and in emergency medical care.

Target setting. The electrocardiographic equipment is generally a kit consisting of electronic unit of monoblock form-factor, standard ECG electrodes, the shielded ECG cable. ECG testing data are saved as printout on ECG-paper or by transferring on the computer. As a result, ECG testing consumes time to prepare the device for work, needs the personal computer as the additional equipment and requires highly skilled staff. The development of portable electrocardiographic equipment with built-in means of communication is a task of current importance for biomedical engineering.

Actual scientific researches and issues analysis are devoted to the selection of optimal design parameters of the portable electrocardiograph and the incensement of its noise immunity. The design of the proposed PEC is determined by the following parameters: method of registration of biopotentials, number of recorded leads, interface type for the device, method of data displaying, type of ports for data transfer, type of the power source.

The method of registration of biopotentials plays an important role. Simplest single-channel devices include integrated capacitive ECG sensors [2]. The disadvantages of such devices are signal distortion because of the variable skin-electrode resistance and high sensitivity to mechanical movement upon contact that reduce accuracy of received data [3]. In order to take an ECG test, the aforementioned devices should be pressed against the chest or they should be firmly squeezed with the palms of both hands. This method is convenient for monitoring or self-monitoring of the well-being, but it cannot be used in emergency medical care, especially if the patient is unconscious. In terms of interference minimization and convenience of information acquisition, PECs equipped with electrodes fixed to the patient's body are preferred [4]. Out of two designs used, the clamp ECG electrodes are more convenient to use rather than the suction cup ECG electrodes [5].

The number of recorded leads for electrocardiographs of different designs varies from 1 to 12 [6]. This parameter is not considered as the primary one for the express-ECG [5]. In order to determine the critical deviations of the cardiovascular system functionality the registration of biopotentials from three leads according to the Einthoven principle is enough [7]. An increase in the number of leads affects the amount of interference and the energy intensity of the device, and it also increases the testing preparation phase for the patient.

PEC for express-diagnostics in non-ambulatory setting must have both a user-friendly visual interface and an ergonomic way of interacting with the device [8]. Practically all the devices, which are in service, are controlled via the button interface with the dialogue window on the liquid crystal display, that simplifies the handling of the device, increases the device's strength and minimizes system energy consumption [5, 7].

A number of PECs provide a function to print the cardiogram on a thermal paper directly at the place of diagnostics, which is convenient for diagnosis and saving of the results of the testing [5]. On the other hand, the use of the thermal paper involves the design of the thermal printing compartment with the possibility of paper replacement, the allocation of volume to house the heat source and the support shaft. Not only do these elements significantly complicate the design, but also affect the power consumption and resistance of the device to the shock loads.

Energy efficiency and autonomy are significant factors to be considered in the development of portable medical equipment in general and equipment for telemedicine in particular [4; 9]. To implement them, the device must have a low power consumption and stay operational at the testing place, regardless of the availability or absence of electrical powerlines.

Uninvestigated parts of general matters defining. The disadvantage of standard electrocardiography methods is the signal distortion, as a result of the electromagnetic interference [3]. Connectors and connecting cables, the human body, the PEC computing module generate electromagnetic distortions [10]. In addition, an important factor is the mechanical strength of the connectors in operating conditions with a large number of pairing cycles [11]. One of the aspects of PEC development is crosstalk level reduction and durability improvement of the equipment by reducing the number of cables and connectors in structural design of the device.

The built-in GSM module is a key design element in the development of portable electrocardiograph for telemedicine. It provides an opportunity of transferring diagnostics results and receiving instructions from specialists, reducing the time interval between taking a cardiogram and diagnosis [12 – 14]. The LAN port should be considered as an alternative to the GSM module – a less expensive, but a rather quick method of an access to the cardiology network [14]. However, at the same time, a place of a patient's testing should have access to the Internet, and the PEC kit must come with an appropriate cable.

TECHNICAL SCIENCES AND TECHNOLOGIES

There is a need to study the dynamics of cardiologic indications; therefore, it is important to save this information by transferring it to external storage devices or a computer [12]. The prevalence of the USB connector as a generally accepted method of the data transfer explains why it is a feature in PECs, but it requires certain design changes, taking into account the ergonomics of the device [2, 7]. The use of the SD card provides an ability to store up to 2 terabytes of cardiac imaging protocols [15]. However, the SD card port is less common than USB, which explains the need for an external storage devices reader.

The research objective is the design of portative electrocardiograph for telemedicine that has a convenient interface for device control, is equipped with means of communication with cardiac care centers, has universal ports for information output to external drives and connection of additional devices, is as ergonomic as possible, operates in compliance with safety, reliability and energy efficiency requirements.

The statement of basic materials. The designed PEC is focused on the potential use in Ukraine and bordering countries of Eastern Europe. The ambient temperature is the main external factor that has a destabilizing effect on the operation of the device. Taking into account the specifics of work of family doctors and emergency medical care teams, it is assumed that the device will be used indoors, while the operating temperature can vary in the range from + 1 to + 40° C.

The main functional units of the designed PEC are:

- PIC24FJ256DA106 microcontroller;
- HJ070NA-13A color liquid crystal display with the touch screen;
- SMD-KAAG15008C micro dynamic speaker;
- PJ-002A-SMT tonometer port;
- SIM900D mobile communication module;
- 220V power supply unit;
- JiNWo NiMh 9.6V 4000mAh rechargeable battery.

In this paper the electronic block diagram is synthesized (fig. 1). The range of heart bioelectric potentials recorded by the device is 0.03 to 5.0 mV. Signals from the ECG electrodes are sent to the lead selector switch. The selection of the current lead is done by the microcontroller through the user menu on the display of the cardiograph. Then the signal enters the circuitry of the instrumentation amplifier, which amplifies the voltage difference that is present in the electrodes. After the signal passes the low-pass filter with a double T-bridge and the cut-off frequency of 10 Hz, it enters the inverter that creates the waveforms of standard form on the display. The inverter is driven by the microcontroller. The tuning resistor located in the signal regulator block sets the signal strength. The diffuser loudspeaker sounds an indication of the cardiography completion and of other performed processes.

The USB with an antenna module is connected to the microcontroller to download reference cardiograms and save the testing results to a portable storage. According to the technical requirements of the GSM module, this structural unit includes the separate power supply circuitry and the SIM card slot.

The touch panel display driven by the microcontroller is intended to create user menu via software and optimize PEC button interface.

The proposed cardiograph model contains the port for connecting an electronic tonometer to supplement the electrocardiogram with blood pressure readouts that is an integral part of ECG diagnostics.

Operation of the device in the autonomous mode is provided by a built-in battery, which is charging through the power supply unit from a standard 220 V power line.

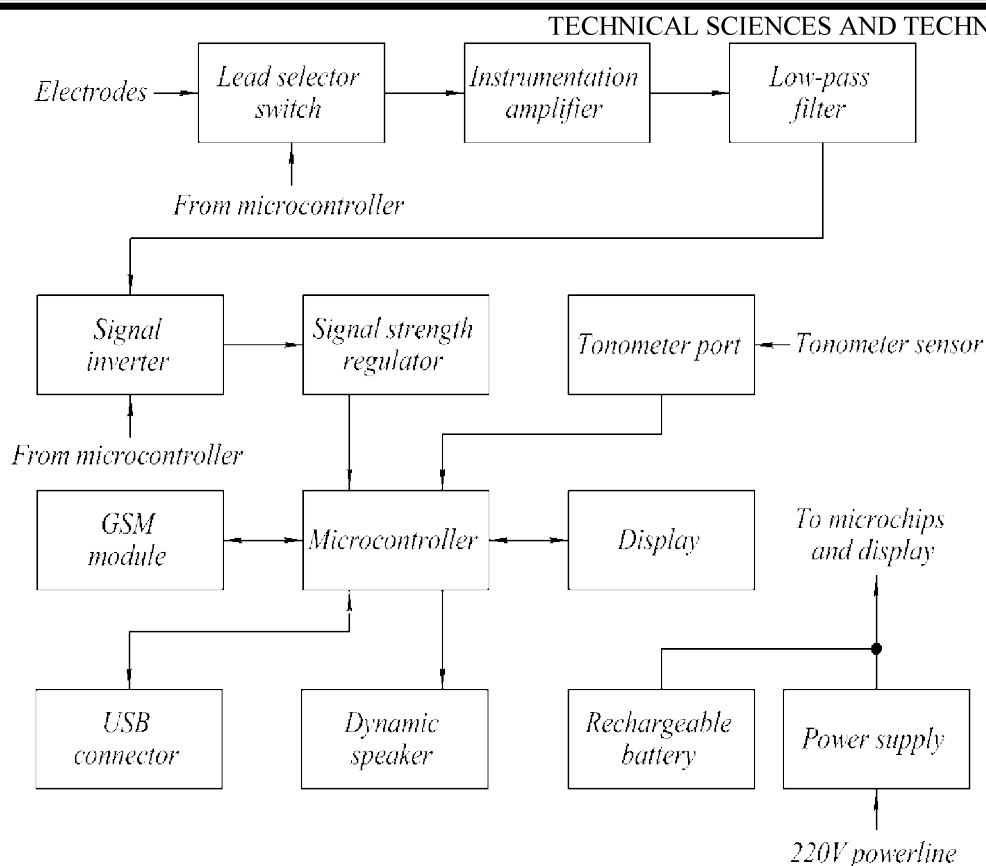


Fig. 1. The portable electrocardiograph: block diagram

Verification of the signal conversion efficiency by the designed electronic unit was produced by the computer simulation of the circuitry section. The circuitry of the instrumentation amplifier, which is the input circuitry of the schematic diagram of designed PEC, is selected as the object of the simulation. The reliability of signal travel through this section is of utmost importance during the ECG-testing [16]. The ranges of cardiometry data deviations at various values of the ambient temperature are the output parameters of simulation [17].

The given tasks were solved in the OrCad 9.2 system. The model of the cascade of PEC instrumentation amplifier was constructed in electronic circuit simulator Pspice Schematics and the relations of its electrical characteristics at specified operating temperatures were determined.

The temperature values for the simulation are selected by:

- extreme values of operating temperature $+1$ and $+40^{\circ}\text{C}$ in the macroclimatic modification of the device for a moderate and cold climate (according to GOST 15150) when it is operated by emergency medical care teams;

- the mean value of operating temperature is $+20^{\circ}\text{C}$, which corresponds to the standard temperature in the family doctor's office (according to DSTU B EN 15251:2011).

The simulation condition is introduced, that assumes the circuitry operates in the mode of the 1st lead biopotential acquisition according to Einthoven. The simulation was carried out for the condition of the inverted test signal, which simulates the cardiac waveform. In PSpice software the test signal is simulated by the piecewise-linear voltage source VPWL (fig. 2a).

The simulated section of the circuitry has a property of amplifying the difference of the input signals. Thus, ideally, the output should be represented by a straight line $f(t) = 0$ when applying the same signals to the inputs. The actual result of the simulation of the operation of the cascade of the PEC instrumentation amplifier for three given values of operating temperatures are the curves of internal interference (fig. 2b).

TECHNICAL SCIENCES AND TECHNOLOGIES

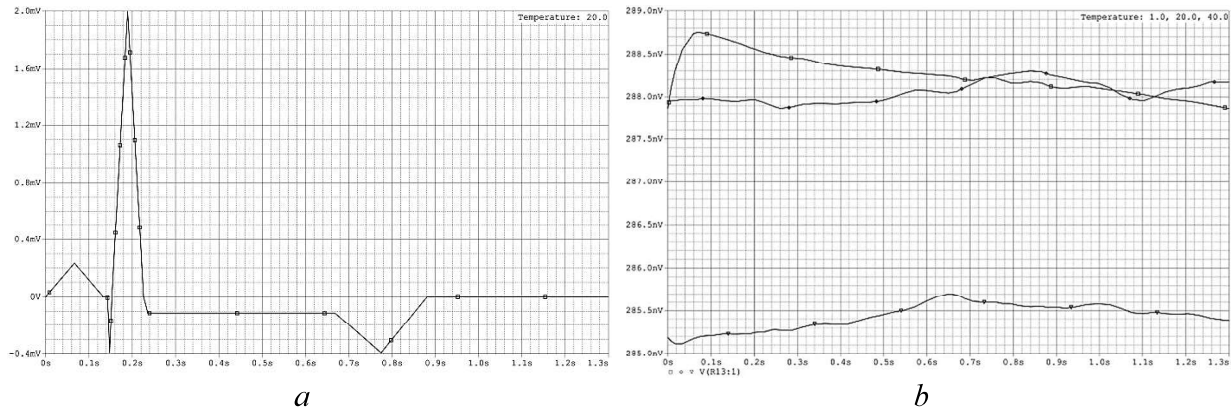


Fig. 2. The simulation of the signal travel through the instrumentation amplifier circuitry: a – test signal simulating cardiac waveform; b – the range of deviation of the test signal

According to simulation results of the signal travel through the circuitry of the instrumentation amplifier, the internal noise level of the circuitry reproduced by the software does not exceed 300 nV. Obtained values of the internal noise level are significantly less than margin of error of $\pm 25 \mu\text{V}$. The nature of the curves shows that the affect of noise changes insignificantly with an increasing temperature in the studied range.

According to the simulation results, stabilization of the system occurs within 3 s (fig. 3a). In this case the primary voltage surge in the circuitry reaches values of 700 nV. (fig. 3b). The obtained voltage value does not endanger the equipment, since the electronic components can withstand surges of up to several volts, while the stabilization time is comparable to the period of the cardiac waveform. Thus, by means of complex computer simulation, the efficiency of signal conversion by a circuitry of the instrumentation amplifier in the given range of operating temperatures is confirmed.

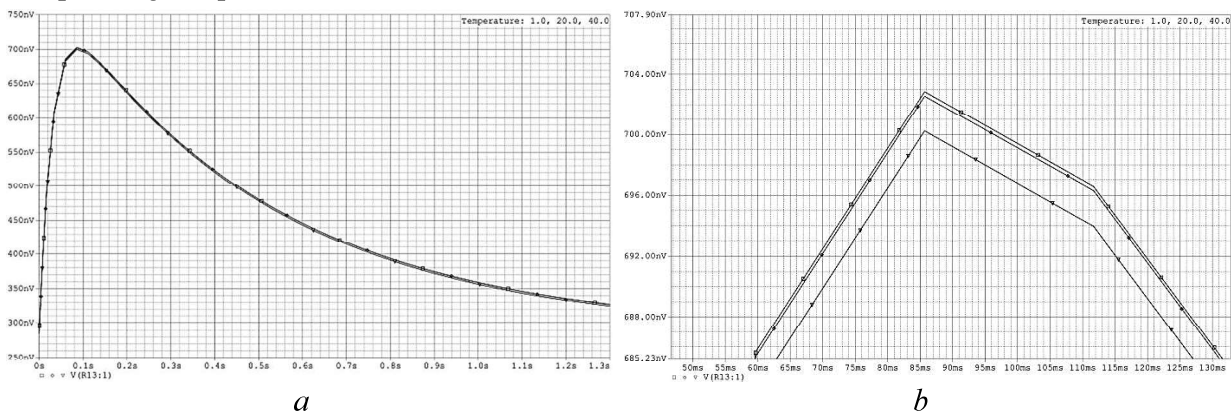


Fig. 3. The transient simulation in PEC circuitry: a – transient response in 5 s. range; b – the scaled peak of the transient waveform with visible temperature fluctuations

For the designed PEC the folding form-factor is proposed. The case and the cover connected by hinges are the major structural elements of the device (fig. 4).

The cover serves as the frame for the color LCD touch screen. The printed circuit board with the processor module and the GSM module are placed behind the display. There is also the low-profile micro speaker. The USB connector is located on the side of the cover.

The case contains the tonometer port, battery and power supply. The case design houses a removable insert with pockets for placing the ECG electrodes kit in transport position, while simultaneously hides the implementation of the wired connections of the tonometer port, battery and power supply. To prevent an accidental loss of the ECG electrodes from insertion

pockets and to prevent damage to other parts of the device, the Velcro tape reliably fixing their position is featured. The electrical safety of the battery and power supply elements meets the requirements of IEC 60601-1: 2005.



Fig. 4. The portable electrocardiograph: 3D-model

The designed PEC model is proposed to be equipped with four standard ECG electrodes of clamp design. Sensors of this type are firmly fixed to the body and they provide high accuracy acquisition of the standard 3-lead ECG. For practical purposes color and letter marking of the electrodes meets the requirements of ANSI/AAMI EC13, EC53 and IEC 60601-2-47. ECG electrode conductors are assembled into a single shielded ECG cable, permanently connected to the adapter located in the case. This omits the operation of connecting the cable, thus reducing the level of electromagnetic noise and the time spent to get the device into the operating position.

The cover and the case are connected with hinges. The proposed design solution minimizes the volume of PEC during transportation and allows an ergonomic adjustment of the device for the user's needs. The maximum angle of the device opening is 135°. During transportation, the PEC is locked with a latch. The cable of the ECG electrodes is connected to the processor module located in the cover, by means of an adapter with a flexible loop.

Conclusions. In the arrangement of the functional elements of the personal electrocardiograph, technical solutions are proposed that are not applicable in electrocardiographs produced by domestic manufacturers. The key design features of the developed PEC model:

- the folding form-factor provides the most ergonomic placement of structural elements, as well as protects the LCD touch screen from damage;
- the built-in GSM module ensures ECG data transfer to cardiologic care centers;
- the color LCD touch screen creates an optimal user interface;
- the electronic tonometer port expands the possibilities of express-diagnostics;
- the absence of a thermal printing unit reduces energy consumption and weight of the device, thus increasing its mobility.

The structural implementation of the electrical circuit is characterized by an innovative approach to the placement of the device functional elements. The implementation of the device in folding form-factor improves ergonomic characteristics of the device. The biopotential measurement in three leads fully suits the requirements of primary preclinical diagnostics in non-ambulatory settings. Replacing the removable cable with an integrated one reduces the level of induced internal noise and also reduces the time taken to bring the device to operating condition. The built-in GSM module provides a reliable communication channel with specialized medical institutions. The use of a 7-inch color touch-sensitive liquid crystal display coupled with a virtual user interface expands the capabilities of the device.

TECHNICAL SCIENCES AND TECHNOLOGIES

Implementation of the proposed PEC model will make it possible to provide emergency medical care services and family medicine services with equipment for express-ECG, which in turn will reduce the number of CVD deaths in Ukraine, as well as facilitate monitoring of patients who undergo respective outpatient treatment.

References

1. Noncommunicable diseases country profiles 2018 (2018). *World Health Organization*. Retrieved from <https://www.who.int/nmh/publications/ncd-profiles-2018/en>.
2. Boyakhchyan, A., Lezhnina, I., Overchuk, K. et. al. Clinical trials of a personal electrocardiograph. *IOP Conf. Series: Materials Science and Engineering*. 2018. Vol. 363, Iss. 1. P. 012030. DOI: 10.1088/1757-899X/363/1/012030.
3. Yadav O. P., Ray S. ECG signal characterization using Lagrange-Chebyshev polynomials. *Radioelectronics and Communications Systems*, 62, 72–85 (2019). DOI: 10.3103/S0735272719020031.
4. Chang W.-L., Hou, C. J.-Y., Wei, S.-P. et. al. Utilization and Clinical Feasibility of a Handheld Remote Electrocardiography Recording Device in Cardiac Arrhythmias and Atrial Fibrillation: A Pilot Study. *International Journal of Gerontology*. 2015. No. 9 (4). P. 206–210. DOI: 10.1016/j.ijge.2015.06.002
5. Bansal, A., Joshi, R. (2018). Portable out-of-hospital electrocardiography: A review of current technologies. *Journal of Arrhythmia*, 34, 129–138. DOI: 10.1002/joa3.12035.
6. Desteghe, L., Raymaekers, Z., Lutin M. et. al. (2017). Performance of handheld electrocardiogram devices to detect atrial fibrillation in a cardiology and geriatric ward setting. *EP Europace*, 19 (1), 29–39. DOI: 10.1093/europace/euw025.
7. Azucena, H., Rios, E., Pena, R. D., Diaz, J. (2015). Design and implementation of a simple portable biomedical electronic device to diagnose cardiac arrhythmias. *Sensing and Bio-Sensing Research*, 4, 1–10. DOI: 10.1016/j.sbsr.2015.01.001.
8. Jeon, T., Kim, B., Jeon, M., Lee, B.-G. (2014). Implementation of a portable device for real-time ECG signal analysis. *BioMedical Engineering Online*, 13 (1). DOI: 10.1186/1475-925X-13-160.
9. Kuzmin, A., Safronov, M., Bodin, O. et. al. (2017). Device and software for mobile heart monitoring. *Conference of Open Innovation Association, FRUCT4*, 121–127. DOI: 10.23919/FRUCT.2016.7892191.
10. Shcherbakova, G. Y., Krylov, V. N., Bilous, N. V. (2015). Methods of automated classification based on wavelet-transform for automated medical diagnostics. *2015 Information Technologies in Innovation Business Conference (ITIB)*, 7–10. DOI: 10.1109/ITIB.2015.7355048.
11. King, W., Bunke, C. (2010). Making medical connections. *Electronic Products*, 52 (8). Retrieved from https://www.electronicproducts.com/Interconnections/Connectors/Making_medical_connections.aspx.
12. Jha, C. K., Kolekar, M. H. (2017). ECG data compression algorithm for tele-monitoring of cardiac patients. *Int. J. Telemedicine and Clinical Practices*, 2 (1), 31–41. DOI: 10.1504/IJTMCP.2017.082106.
13. Campillo, D., Torres, H., Gonzalez, R. et. al. (2014). A portable device for a modular system of patient ECG monitoring. *Computing in Cardiology*, 41, 1077–1079. Retrieved from <http://www.cinc.org/archives/2014/pdf/1077.pdf>.
14. Kyriacou, E., Pavlopoulos, S., Berler, A. et. al. (2003). Multi-purpose HealthCare Telemedicine Systems with mobile communication link support. *BioMedical Engineering OnLine*, 2:7. DOI: 10.1186/1475-925X-2-7.
15. Segura-Juarez, J. J., Cuesta-Frau, D., Samblas-Pena, L., Aboy, M. (2004). A Microcontroller-Based Portable Electrocardiograph Recorder. *IEEE Transactions on Biomedical Engineering*, 51 (9), 1686–1690. DOI: 10.1109/TBME.2004.827539.
16. Shcherbakova, G., Hao-Su, Shi, Krylov, V. , et. al. (2017). Estimation of the duration of RR-intervals of electrocardiograms by mean of multi-start optimization based on wavelet transformation. *2017 9th IEEE International Conference on Intelligent Data Acquisition and Advanced Computing Systems: Technology and Applications (IDAACS)* (pp. 752–755). DOI: 10.1109/IDAACS.2017.8095190.
17. Yarova, I. A., Skonechnyi, V. V., Sobianin, I. V. (2019). Proektuvannya portatyvnoho elektrokardiografu dlia vneambulatornoi ekspres-kardiometrii [Design of the portable electrocardiograph for the outpatient express-cardiometry]. *Kompleksne zabezpechennia yakosti tekhnolohichnykh protsesiv ta system: materialy IX Mizhnarodnoi naukovo-praktychnoi konferentsii – Complex Quality Supply for Technological Processes and Systems: proceedings of IX International Scientific-Practical Conference* (vol. 2, pp. 219–220). Chernihiv: ChNTU.

УДК 621.398:616–073.7+62–182.4

Ігор Собянін, Валерій Сконеchnий, Інна Ярова

**ПОРТАТИВНИЙ ЕЛЕКТРОКАРДІОГРАФ ІЗ GSM МОДУЛЕМ
ДЛЯ ТЕЛЕМЕДИЦИНИ**

Актуальність теми дослідження. Необхідність впровадження в практику принципів телемедицини обумовлює потребу створення діагностичної медичної апаратури, що реалізує можливість передачі даних і дистанційного консультування з профільними фахівцями при наданні екстреної медичної допомоги та в сімейній медицині.

Постановка проблеми. Електрокардіографічне обладнання як правило представляє собою комплекс, що складається з електронного блоку в форм-факторі моноблок, комплексу знімних ЕКГ електродів і ЕКГ кабелю. Кардіодані зберігаються друкуванням на термопапері або передачею на персональний комп'ютер. Таким чином, проведення ЕКГ вимагає витрат часу на приведення приладу в робочий стан, додаткового обладнання у вигляді персонального комп'ютера і високої кваліфікації лікаря для інтерпретації результатів. Проектування портативної електрокардіографічної техніки з вбудованими засобами зв'язку є актуальним завданням біомедичної інженерії.

Аналіз останніх досліджень і публікацій. Сучасні дослідження в області проектування портативного обладнання для первинної діагностики серцево-судинних захворювань присвячені вибору оптимальних конструктивних параметрів і підвищенню завадостійкості медичної техніки.

Виділення недосліджених частин загальної проблеми. Стаття присвячена розробці конструкції портативного електрокардіографа з вбудованим GSM модулем для експлуатації в системах телемедицини.

Постановка завдання. Актуальним завданням є проектування портативного електрокардіографа для експрес-діагностики серцево-судинних захворювань, що має зручний інтерфейс для управління приладом, забезпеченого засобами зв'язку з центрами кардіологічної допомоги, із універсальними портами для виведення інформації на зовнішні накопичувачі й підключення додаткових пристроїв, максимально ергономічного, такого, що задовольняє вимогам безпеки, надійності та енергоефективності.

Виклад основного матеріалу. Сформульовано основні вимоги до портативної електрокардіографічної техніки. Обрані основні функціональні одиниці приладу і синтезована його схема електрична структурна. Комп'ютерне моделювання процесів і параметрів функціонування каскаду інструментального підсилювача приладу при заданих значеннях робочих температур підтвердило обґрунтованість запропонованих схемотехнічних рішень. Розроблена конструктивна реалізація електричної схеми. Визначено конструктивні характеристики приладу, які найбільш повно відповідають вимогам телемедицини.

Висновки. Характерними особливостями спроектованого портативного електрокардіографа є виконання в розкладному форм-факторі, наявність GSM модуля і постійне підключення ЕКГ електродів через інтегрований ЕКГ кабель. Виконання в розкладному форм-факторі оптимізує ергономічні характеристики приладу. Заміна знімного кабелю інтегрованим знижує рівень наведених внутрішніх шумів, а також скорочує час приведення приладу в робочий стан. Наявність вбудованого GSM модуля забезпечує доступний зв'язок зі спеціалізованими медичними установами, скорочує тривалість діагностики і підвищує ефективність медичної допомоги в неамбулаторних умовах.

Ключові слова: телемедицина, електрокардіографія, портативний електрокардіограф, GSM модуль, передача даних, розкладний форм-фактор, інтегрований ЕКГ кабель.

Рис. 4. Бібл. 17.

Sobianin Ihor – Master, Department of Electronic Equipment and Information processing Computer Technologies, Odessa National Polytechnic University (1 Shevchenko Av., 65044 Odessa, Ukraine).

Собянін Ігор Володимирович – магістр, магістр кафедри електронних засобів і інформаційно-комп'ютерних технологій, Одеський національний політехнічний університет (просп. Шевченка, 1, м. Одеса, 65044, Україна).

E-mail: sobyanin.igor.1997@gmail.com

ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-5444-602X>

Skonechnyi Valerii – PhD in Technical Science, Senior Lecturer of Department of Electronic Equipment and Information processing Computer Technologies, Odessa National Polytechnic University (1 Shevchenko Av., 65044 Odessa, Ukraine).

Сконеchnий Валерій Володимирович – кандидат технічних наук, старший викладач кафедри електронних засобів і інформаційно-комп'ютерних технологій, Одеський національний політехнічний університет (просп. Шевченка, 1, м. Одеса, 65044, Україна).

E-mail: valeriy.skonechnuy@onu.ua

ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-3778-1392>

Yarova Inna – PhD in Technical science, Associate Professor, Associate Professor of Department of Vitality Protection Systems Management, Odessa National Polytechnic University (1 Shevchenko Av., 65044 Odessa, Ukraine).

Ярова Інна Анатоліївна – кандидат технічних наук, доцент, доцент кафедри управління системами безпеки життєдіяльності, Одеський національний політехнічний університет (просп. Шевченка, 1, м. Одеса, 65044, Україна).

E-mail: inaodua@ukr.net

ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-7154-6674>