

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ
Національний технічний університет
«Харківський політехнічний інститут»

ВІСНИК
НАЦІОНАЛЬНОГО ТЕХНІЧНОГО УНІВЕРСИТЕТУ
«ХПІ»

Серія: Автоматика та приладобудування

№ 29 (1138) 2015

Збірник наукових праць

Видання засноване у 2001 р.

Харків
НТУ «ХПІ», 2015

Вісник Національного технічного університету «ХПІ». Збірник наукових праць. Серія: Автоматика та приладобудування. – Харків. : НТУ «ХПІ». – 2015. – № 29 (1138). – 84 с.

Державне видання

Свідоцтво Держкомітету з інформаційної політики України

КВ № 5256 від 2 липня 2001 року

Збірник виходить українською та російською мовами.

Вісник Національного технічного університету «ХПІ» внесено до «Переліку наукових фахових видань України, в яких можуть публікуватися результати дисертаційних робіт на здобуття наукових ступенів доктора і кандидата наук», затвердженого Постановою президії ВАК України від 26 травня 2010 р., № 1 – 05/4 (Бюлетень ВАК України, № 6, 2010 р., с. 3, № 20).

Координаційна рада:

Л. Л. Товажнянський, д-р техн. наук, проф. (**голова**);

К. О. Горбунов, канд. техн. наук, доц. (**секретар**);

А. П. Марченко, д-р техн. наук, проф.; Є. І. Сокол, д-р техн. наук, чл.-кор. НАН України;

Є. С. Александров, д-р техн. наук, проф.; А. В. Бойко, д-р техн. наук, проф.;

Ф. Ф. Гладкий, д-р техн. наук, проф.; М. Д. Годлевський, д-р техн. наук, проф.;

А. І. Грабченко, д-р техн. наук, проф.; В. Г. Данько, д-р техн. наук, проф.;

В. Д. Дмитриенко, д-р техн. наук, проф.; І. Ф. Домнін, д-р техн. наук, проф.;

В. В. Єпіфанов, канд. техн. наук, проф.; Ю. І. Зайцев, канд. техн. наук, проф.;

П. О. Качанов, д-р техн. наук, проф.; В. Б. Клепиков, д-р техн. наук, проф.;

С. І. Кондрашов, д-р техн. наук, проф.; В. І. Кравченко, д-р техн. наук, проф.;

Г. В. Лісачук, д-р техн. наук, проф.; О. К. Морачковський, д-р техн. наук, проф.;

В. І. Николаєнко, канд. іст. наук, проф.; П. Г. Перерва, д-р екон. наук, проф.;

В. А. Пуляєв, д-р техн. наук, проф.; М. І. Рищенко, д-р техн. наук, проф.;

В. Б. Самородов, д-р техн. наук, проф.; Г. М. Сучков, д-р техн. наук, проф.;

Ю. В. Тимофієв, д-р техн. наук, проф.; М. А. Ткачук, д-р техн. наук, проф.

Редакційна колегія серії:

Відповідальний редактор: П.О. Качанов, д-р техн. наук, проф.

Відповідальний секретар: А.М. Борисенко, д-р техн. наук, проф.

Члени редколегії: П.Ф. Шапов, д-р техн. наук, проф.; А.І. Гапон, канд. техн. наук, проф.;

О.Л. Резинкін, д-р техн. наук, с.н.с., І.Ф. Домнін, д-р техн. наук, проф.; Л.В. Дербунович,

д-р техн. наук, проф., О.І. Рогачов д-р техн. наук, проф.; Л.Г. Раскін, д-р техн. наук, проф.;

С.І. Кондрашов, д-р техн. наук, проф.; Г.М. Сучков, д-р техн. наук, проф.; С.М. Порошин,

д-р техн. наук, проф.; М.В. Гунбін, канд. техн. наук, доц.; М.І. Корсунов, д-р техн. наук,

проф.; Д.В. Сперанський, д-р техн. наук, проф. (м. Москва); А.В. Івашко, к.т.н., проф.

У березні 2014 р. Вісник Національного технічного університету «ХПІ», серія «Автоматика та приладобудування», включений у довідник періодичних видань бази даних Ulrich's Periodicals Directory (New Jersey, USA).

Рекомендовано до друку Вченою радою НТУ «ХПІ».

Протокол № 6 від 29 травня 2015 року.

Національний технічний університет «ХПІ», 2015

І.В. ГРИГОРЕНКО, к.т.н., доцент НТУ «ХП»;
А.С. БЕЛЄВЦОВА, ПП «УДЦ ТЕХІНФОРМСЕРВІС», Харків;
О.В. ХАРЧЕНКО, магістр НТУ «ХП»

ДОСЛІДЖЕННЯ ДИНАМІЧНИХ ТА ТЕМПЕРАТУРНИХ ПОХИБОК ЛАЗЕРНОЇ СИСТЕМИ ПРИ ТЕСТОВОМУ КОНТРОЛІ

У статті представлено аналіз можливості підвищення точності лазерного діагностичного приладу шляхом оцінки динамічної та температурної похибок у системах лазерного контролю. Запропоновано оцінювати динамічну похибку, що виникає при відпрацюванні східчастого тесту за інтегральним критерієм помилки. Для врахування температурної похибки запропоновано провести розрахунок та аналіз температурних режимів роботи лазерної системи контролю, а за його результатами – введення у розрахункові формули коефіцієнтів, що враховують вплив температурних дрейфів на результати вимірювань.

Ключові слова: інтегральний критерій помилки, система лазерного контролю, вимірювальний пристрій, тестові методи контролю лазерних систем.

Вступ. Задача отримання прецизійних результатів при використанні на виробництві лазерних систем – основна задача, яку необхідно вирішувати першочергово. Тестовий контроль дозволить підвищити точність вимірювань за допомогою лазерних систем та зменшити похибку виміру шляхом перетворення спеціальних тестів, функціонально пов'язаних з вимірюваною величиною і обробки результатів перетворень за заданим алгоритмом.

Аналіз основних досягнень і літератури. У роботі [1] розглянуті основні методи та загальні підходи до вирішення задач проектування лазерних систем, показані фактори, що впливають на розповсюдження хвиль оптичного діапазону у навколишньому середовищі, а також вплив вибору довжини хвилі випромінювання на характеристики сигналів, що приймаються. У роботі [2] розглянуті основні види оптичних завад природного та штучного походження. Описані способи організації штучних завад, а також механізм впливу завад на оптико-електричні прибори.

Мета дослідження, постановка задачі. Метою роботи є підвищення точності лазерного діагностичного приладу [3] шляхом оцінки динамічної та температурної похибки тесту, а також похибки розсіювання лазерного випромінювання.

Матеріали досліджень. На цей час існують багато систем лазерного контролю як технологічних процесів, так і окремих об'єктів, які дають можливість вирішувати конкретні задачі, але не відповідають на запитання, наскільки достовірні дані цього контролю?

Оцінку динамічної похибки при тестуванні східчастим вхідним впливом можна виконати за допомогою інтегрального критерію помилки (рис. 1) [4].

© І.В. Григоренко, А.С. Белєвцова, О.В. Харченко 2015

$$e_{ik} = \int_t^{t+T} \mu \cdot [Y_T(t) - Y_p(t)] dt, \quad (1)$$

де e_{ik} – значення інтегрального критерію при відпрацюванні тесту;
 $\mu [Y_T(t) - Y_p(t)]$ – міра динамічної похибки, у якій $Y_T(t)$ вихідний сигнал ідеального (безінерційного) вимірювального пристрою при східчастому вхідному сигналі;
 $Y_p(t)$ – вихідний сигнал реального вимірювального пристрою;
 μ – масштабний коефіцієнт.

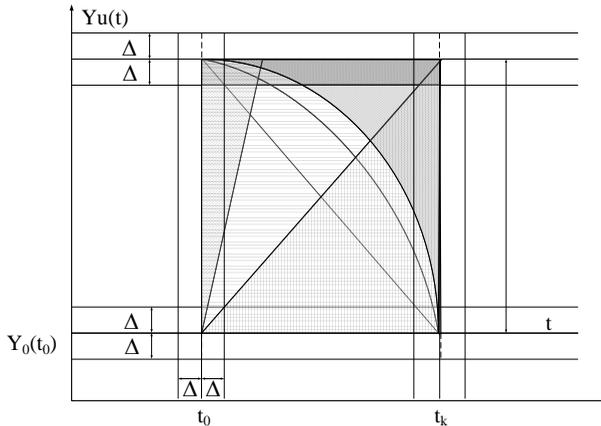


Рис. 1 – Інтегральний критерій оцінювання похибки тесту

Таким чином, якщо система, що контролюється, реагує на зразкові ділянки, то на виході блоку обробки даних маємо різницевий сигнал заданого рівня, що говорить про чутливість та точність роботи системи [2].

Оскільки оцінка динамічної похибки відбувається за допомогою оцінки площ під кривою, то можливий випадок, коли рівність площ зберігатися при наявності фактичної помилки. Проілюструємо це рисунком 2. Даний випадок називається похибкою тесту і пов'язаний з розсіюванням лазерного променя.

Точність сучасних лазерних систем контролю визначається у першу чергу шумами, а також внутрішніми та особисто зовнішніми перешкодами, які носять випадковий характер. Це може бути пояснено як рівнем сучасної елементної бази лазерних систем, розвитком методів їх розрахунку та конструювання, так і ускладненням умов, у яких доводиться працювати лазерним системам [1]. Прикладом таких систем є системи контролю якості поверхні виробів на металообробляючих верстатах.

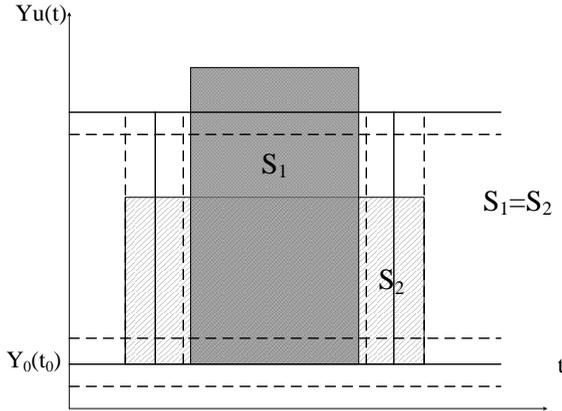


Рис. 2 – Рівність площ

Інтегральний критерій похибки дає змогу оцінити динамічну похибку тесту. Розрахунок динамічної похибки самої лазерної системи контролю може бути проведено, якщо відома передаточна функція системи або частотні характеристики окремих елементів її структурної схеми.

У загальному випадку спектральна щільність динамічної похибки відтворення деякого вхідного сигналу зі спектром $X(j\omega)$ на виході лінійної системи з частотною характеристикою $G_s(j\omega)$ визначається як

$$\Delta_{din\ вых}(j\omega) = [G_s(j\omega) - 1] \cdot X(j\omega).$$

Ця ж похибка, приведена до входу, буде мати вигляд

$$\Delta_{din\ вх}(j\omega) = \left[\frac{G_s(j\omega)}{K_c} - 1 \right] \cdot X(j\omega),$$

де K_c – статичний загальний коефіцієнт перетворення системи (при $\omega=0$).

Якщо неузгодженість на вході (вимірювальна величина) являє собою стаціонарний центрований випадковий процес зі спектральною щільністю $S(\omega)$, то математичне очікування динамічної похибки дорівнює нулю, а її дисперсія

$$D[\Delta_{din}] = \frac{1}{2\pi} \int_{-\infty}^{+\infty} \left| \frac{G_s(j\omega)}{K_c} - 1 \right|^2 \cdot S(\omega) d\omega.$$

Якщо вхідна неузгодженість є миттєвим значенням гармонічного сигналу $A_m \cdot e^{j\omega t}$, то динамічна похибка вимірювання цього значення

$$\Delta_{din}(t) = \left| \frac{G_s(j\omega)}{K_c} - 1 \right| \cdot A_m \cdot e^{j\omega t},$$

її математичне очікування дорівнює нулю, а дисперсія

$$D[\Delta_{din}] = \left(\frac{A_m^2}{2} \right) \cdot \left| \frac{G_s(j\omega)}{K_c} - 1 \right|^2.$$

Значний вплив на точність лазерних систем має температурний режим роботи. Навіть незначний перепад температури елементів системи може привести до появи термооптичної аберації, розфокусування оптичної системи, термодформації оптичних деталей, до погіршення чутливості і відношення сигнал/шум внаслідок збільшення фонового потоку випромінювання, що наближається до приймача випромінювання, та інших помилок.

Для забезпечення потрібної якості показань лазерної системи контролю необхідно провести розрахунок та аналіз теплових режимів роботи.

Таким чином, виникає необхідність введення температурної корекції, оскільки, наприклад, при обробці металів різанням, має місце висока температура у зоні різання.

У самій системі, у самій системі при відомих значеннях перепадів температур Δt окремих вузлів і елементів відносно номінальних температур є можливість розрахунку відповідних змін оптичних параметрів: радіусів кривизни оптичних поверхонь r_i , показників переломлення деталей n_i , товщини повітряних проміжків d_i за формулами

$$r_i = r_{20}(1 + \alpha_i \Delta t); \quad n_i = n_{20}(1 + \beta_i \Delta t); \quad d_i = d_{20}(1 + \beta_i \Delta t),$$

де r_{20} , d_{20} , n_{20} – відповідно радіусів кривизни, товщина і показник переломлення при нормальній температурі $t = 20^\circ \text{C}$; α_i – коефіцієнт лінійного розширення матеріалу i -х оптичних, або механічних деталей; β_i – температурний коефіцієнт показника переломлення скла i -х деталей.

Результати досліджень. Через наявність випаровувань, підвищених температур при обробці деталей різанням у подальших розробках планується проаналізувати можливість розрахунку розсіювання лазерного пучка для визначення оптимальних параметрів вимірюваного вікна і зробити рекомендації щодо ширини тесту так, щоб світлова пляма від лазерного випромінювання розміщалась на вершині тестових ділянок для уникнення можливих помилок тесту.

Висновки. Проведений аналіз показав доцільність подальшої розробки тестового методу для діагностичного приладу [3] з урахуванням умов, які впливають на точність контролю, і встановлення допустимих границь вимірювального вікна, на які впливають розміщення лазерного променя відносно виробу, його яскравість, умови і характер виконуваних робіт.

Застосування запропонованих підходів до оцінки похибок дасть можливість підвищити якість і вірогідність контролю лазерних діагностичних систем.

Список літератури: 1. Мишура Т.П. Проектирование лазерных систем: учебное пособие / Т.П. Мишура, О.Ю. Платонов // ГУАП. - СПб., 2006. – 98с. 2. Якушенков Ю.Г. Методы борьбы в оптико-электронных приборах / Н.В. Луканцев, М.П. Колосов // М.: Радио и связь, 1981. – 180с. 3. Пат. 85637 У Україна, МПК G01V 11/30(2006.01) Пристрій для контролю лазерної системи виміру геометричних розмірів та якості поверхні виробів / І.В. Григоренко, С.І. Кондрашов, Давиденко О.П., А.С. Белєвцова; Власник НТУ «ХПІ», № u2013 06975; заявлено 03.06.2013, опубл. 25.11.2013, бюл. №22, – 2с. 4. Григоренко І.В. Розвиток тестових методів підвищення точності електричних компенсаційних вимірювальних перетворювачів у динамічних режимах: дис. на здобуття наукового ступеня кандидата технічних наук: 05.11.05 / І.В. Григоренко – Харків, 2010. – 224 с.

Bibliography (transliterated): 1. Michura T.P. *Design of laser systems: a tutorial* / T.P. Michura, O. Platonov // SUAE. - SPb., 2006. – 98 p. 2. Yakushenkov Y.G. *Methods of struggle in optoelectronic devices* / N.V. Lucanians, M.P. Kolosov // M.: Radio and sviyaz, 1981. – 180 p. 3. Pat. 85 637 U Ukraine, IPC G01V 11/30 (2006.01) *Device for controlling laser measurement systems geometric dimensions and surface quality of products* / I.V. Hrihorenko, S.I. Kondrashov, A.P. Davydenko, A.S. Byelyevtsova; Owner NTU "KhPI", Nou2013 06 975; stated 03.06.2013, publ. 25.11.2013, Bul. No22, - 2p. 4. Hrihorenko I.V. *The development of test methods to improve the accuracy of measuring transformers countervailing power in dynamic modes*: Thesis. for the degree of candidate of technical sciences: 05.11.05 / I.V. Hrihorenko - Kharkiv, 2010. - 224 p.

Надійшла (received) 17.03.2015

О. П. ДАВИДЕНКО, к.т.н., професор «НТУ ХП»;
О. О. БЕЗУС, магістр «НТУ ХП»

БЕЗПРОВІДНА СИСТЕМА МОНІТОРИНГУ НАПРУЖЕНО-ДЕФОРМОВАНОГО СТАНУ БУДІВЕЛЬ ТА СПОРУД

У статті розглянуті питання побудови системи моніторингу напружено-деформованого стану будівель та споруд. Враховуючи недоліки провідної системи пропонується використання безпровідної системи з сенсорними вузлами. Наведені переваги даної системи. Обговорюються питання вибору первинних перетворювачів для визначення фізичного та силового впливу, координатора та необхідної елементної бази. Наведена структурна схема безпровідної системи моніторингу та схема сенсорного вузла.

Ключові слова: безпровідна система моніторингу, деформація, сенсорний вузол

Вступ. В останні роки все частіше трапляються випадки раптового обвалу будівельних конструкцій. Це обумовлено тим, що велика кількість житлових та промислових об'єктів знаходяться в критичному стані. Сучасні тенденції в будівництві, а саме – збільшення поверховості будівель, ущільнення міської забудови, освоєння підземного простору, насичення інженерними комунікаціями незмінно приводять до виникнення негативного техногенного впливу проведеного будівництва на вже побудовані об'єкти, розташовані в прилеглих зонах. У зв'язку з цим особливого значення набуває проблема контролю технічного стану будівель і споруд з метою попередження виникнення аварійних ситуацій. В даний час існує широкий спектр датчиків, які можуть з високою точністю визначати деформації і переміщення конструктивних елементів різних технічних і будівельних об'єктів. Використання відповідних приладів вимірювання деформацій і методів розрахунку дозволить виявити факт виникнення небезпечної ситуації і своєчасно оповістити людей.

Актуальність даної теми визначається необхідністю створення обґрунтованої методики об'єктивної оцінки технічного стану конструктивних елементів, яка дозволила б з високою достовірністю прогнозувати і попереджати виникнення і розвиток аварійних ситуацій. На сьогоднішній день не існує єдиної методики, що дозволяє ефективно протидіяти ймовірній небезпеці. [1]

Однією з важливих вимог до системи контролю є висока надійність і стабільність її роботи протягом всього терміну експлуатації споруди після моменту розгортання системи. В першу чергу ця вимога стосується датчиків деформацій і переміщень, що пояснюється складністю, а часом і неможливістю їх заміни після установки в таких важкодоступних місцях як основи будівель, арматурний скелет несучих будівельних конструкцій, куполи та шпиль, і т.п. Алгоритм звернення до датчиків деформації і зняття

© О. П. Давиденко, О. О. Безус, 2015

з них сигналу повинен бути простим. Це дозволить з плином часу проводити модернізацію реєструючих приладів без заміни самих датчиків деформацій і переміщень.

Аналіз останніх досліджень та літератури. Для контролю напружено-деформованого стану будівель та споруд застосовують дротові та бездротові системи моніторингу. Система моніторингу деформації що побудована на основі дротової системи вимагає проведення дорогих кабельних робіт, наявності спеціально підготовленого персоналу для монтажу та технічного обслуговування. До того ж відсутня можливість компактного розміщення датчиків на об'єкті, надійність системи на 100% залежить від функціонування окремих елементів. Проте останнім часом були розроблені нові технології контролю, більш дешеві при використанні. Одна з таких технологій – безпроводна система передачі інформації з датчиків, які розміщуються на певних, найбільш небезпечних, елементах будівель та споруд.[2]

Метою статті є вибір системи моніторингу напружено-деформованого стану будівель, вибір первинних перетворювачів, побудова структурної схеми системи.

Постановка задачі. Для того, щоб провести контроль напружено-деформованого стану будівель та споруд використовують різні прилади, які відрізняються способом монтажу і вартістю. Щоб забезпечити контроль не тільки споруджуваних об'єктів, але й тих що вже знаходяться в експлуатації необхідно розробити систему моніторингу, яка буде простою у використанні, контролювати необхідну кількість параметрів, та бути дешевшою за ті, що пропонуються на нашому ринку.

Матеріали досліджень. Система моніторингу передбачає встановлення різних типів датчиків на елементах конструкцій будівель і споруд з метою визначення фізичного (вологість і температура) і силового впливу(статичне та динамічне навантаження).

В якості первинних перетворювачів використовуються: струнний тензометр, інклінометр, датчик переміщення і розкриття тріщин, датчик тиску, датчик температури та вологості.

Накладний струнний тензометр розроблений для вимірювання деформації сталевих, залізобетонних, кам'яних або дерев'яних конструкцій. Застосування накладного тензометра: тривалий моніторинг та вимірювання деформації і напруги в палях, підпірних стінках, розпірках, балках, колонах, двутаврах об'єктів різного функціонального призначення (будинків, тунелів, мостів, гребель, насипів). Датчик встановлюється на об'єкт за допомогою зварювання або анкерного кріплення.

Для отримання повноцінної картини деформаційного стану конструкції висотної будівлі необхідно додатково контролювати переміщення елементів конструкції відносно один одного і розкриття тріщин, оскільки ця інформація безпосередньо відображає порушення структурної цілісності конструкції. Даний тип вимірювань здійснюється за допомогою датчиків переміщень.

У загальному вигляді прилади вимірюють відстань між двома контрольними точками, які розташовуються (зазвичай за допомогою анкерного кріплення) на боках стику або тріщини. Якщо необхідно проводити контроль переміщень у двох (вертикально, горизонтально) або більше напрямках, то встановлюється система датчиків, розташованих в різних площинах. [3]

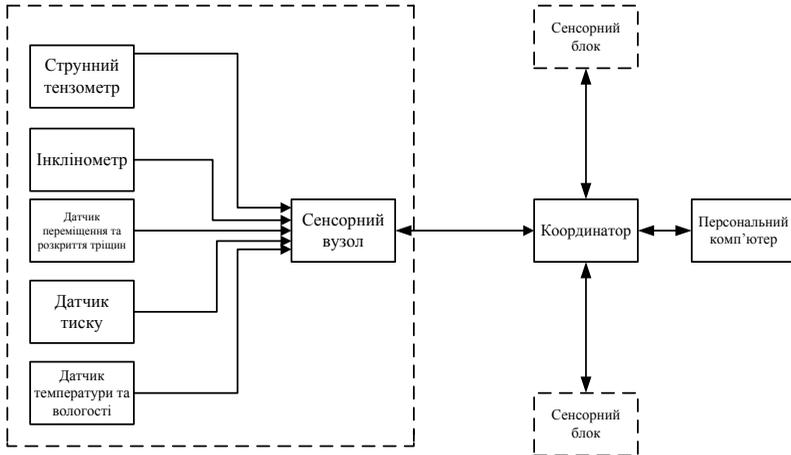


Рис.1 – Структурна схема безпроводної системи моніторингу

Двохосьовий МЕМС інклінометр призначений для вимірювання кутів нахилу в діапазоні $\pm 30^\circ$. Вимірювання проводиться по двом незалежним осям з малим показником нелінійності у всьому діапазоні вимірювання. Інклінометр застосовується для контролю поздовжнього і поперечного нахилу дамб, мостів, стін, опор, балок, щогл та інших конструкцій, на поверхні яких він закріплений.

Струнний датчик тиску розроблений для вимірювання повного тиску в підставах дамб, мостів, насипів. Використовується для: контролю та аналізу зміни напруги в фундаменті під час будівництва; вимірювання тиску в земних насипах, при взаємодії двох різних матеріалів; зміні контактного тиску в підпірних стінках, сваях, тунелях; дослідження для удосконалення проектування і будівництва насипів, дамб, підземних робіт.

Датчик температури та вологості розроблений для моніторингу показань вологості і температури в промислових, суспільних будівлях та спорудах, покрівлі та ін. В системі використовується цифровий датчик з діапазоном температур від -50 до $+80^\circ\text{C}$, та діапазоном вимірюваної вологості від 0 до 100%. [4,5]

Датчики підключаються до сенсорних вузлів для передачі їх в цифровому вигляді на комп'ютер з використанням бездротового інтерфейсу за допомогою комунікаційного середовища бездротової сенсорної мережі ZigBee. Сенсорний вузол побудований на апаратній платформі Arduino Leonardo. Ar-

duino Leonardo – це контролер на базі ATmega32u4. Платформа має 20 цифрових вхід / виходів (7 з яких можуть використовуватися як виходи ШІМ і 12 як аналогові входи), кварцовий генератор 16 МГц, роз'єм мікро-USB.

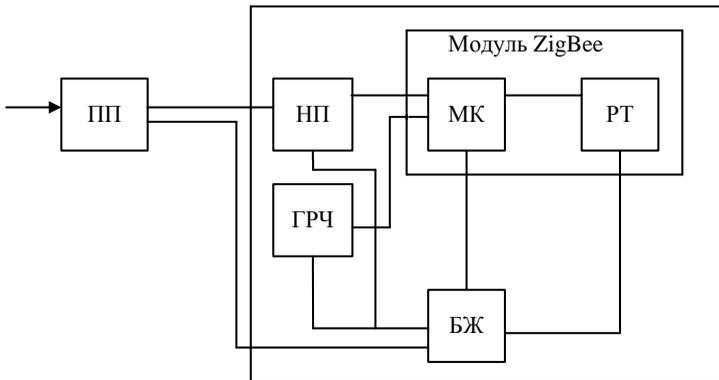


Рис.2 – Структурна схема сенсорного вузла

На схемі використані такі скорочення: ПП – первинний перетворювач, НП – нормуючий підсилювач, МК – мікроконтролер, РТ – радіотрансивер, ГРЧ – годинник реального часу, БЖ – блок живлення.

Для організації бездротової мережі, використовується малопотужний радіочастотний трансивер компанії Atmel, що працює на частоті 2,4 ГГц. Радіотрансивер має дальність зв'язку між сусідніми датчиками, яка визначається умовами поширення сигналів і може досягати відстані до 500 метрів. Завдяки такому рішення досягається більш висока ступінь надійності в порівнянні з провідними системами передачі даних, оскільки при проведенні будівельних робіт вкрай висока вірогідність механічних пошкоджень кабельних ліній зв'язку.

В якості координатора використовуються мінікомп'ютер Minix Neo X8-N. Координатор опитує сенсорні вузли відповідно до заданої програми, організує і зберігає інформацію в пам'яті. Опрацьовувати дані безпосередньо на координаторі недоцільно, оскільки потужність мікроконтролера координатора для цього мала. Тому необхідно передавати дані з координатора мережі на автоматизоване робоче місце оператора системи через локальне з'єднання або на центральний сервер через мережу спільного використання. [6]

Основою для організації контролю поточного технічного стану будівель і споруд є періодичне проведення обстеження їх технічного стану. Тому немає необхідності встановлювати датчики на довгий час. Система має бути портативною. Це дозволить використовувати її для контролю необмеженої кількості будівель. Це зменшить вартість моніторингу об'єктів, оскільки немає необхідності встановлювати окрему систему на кожен об'єкт. На об'єктах, які підлягають моніторингу необхідно відвести спеціальні місця: встано-

вити анкерні кріплення для струнних датчиків та DIN – рейки для кріплення модульного обладнання.

Висновки. Таким чином, запропонована система моніторингу напружено-деформованого стану конструкцій будівель і споруд дозволить отримувати, реєструвати і відображати необхідну інформацію від датчиків. Основні переваги даної системи: відсутність витрат на прокладку кабелів; зменшення витрат на персонал, оскільки роботу може виконати один спеціаліст; можливість розташування у важкодоступних місцях, куди важко та дорого проводити стандартні дротові системи; можливість встановлення системи на всі без винятку види будівельних конструкцій.

На даному етапі система забезпечує лише збір, реєстрацію та відображення показників датчиків, встановлених на різних елементах конструкції для аналізу структурної цілісності будівель. Подальша інтерпретація та аналіз отриманих даних потребують застосування експертних знань та спеціалізованих математичних пакетів.

Список літератури: 1. *Таракановский В. К.* Обзор современных средств мониторинга состояния конструкций высотных зданий. //Таракановский В. К.// Вестник Института физики Земли им. О.Ю. Шмидта РАН. – М.: – 2010 – 40 с. 2. *Михайлов А. Н.* Построение системы мониторинга напряженно-деформированного состояния конструкций зданий и сооружений на основе сенсорных сетей. //Михайлов А. Н.// Вестник Санкт-Петербургского государственного политехнического университета. – СПб – 2013 – 56 с. 3. *Горпиченко В. М., Егорова М. И.* Мониторинг эксплуатационной пригодности особо ответственных, сложных и уникальных сооружений. //Горпиченко В. М.// Промышленное и гражданское строительство №10 – 2004 – 4 с. 4. *Грачев В. И.* Автоматизированные системы мониторинга – современные тенденции в проектировании, строительстве и эксплуатации зданий и сооружений //Грачев В. И.// Стройкомплекс Среднего Урала 2011, №9 –37 с. 5. *Пичугин С. Ф.* Надежность стальных конструкций производственных зданий //Пичугин С. Ф.// Ассоциация строительных вузов – 2011 – 184 с. 6. *Михайлов А. Н.* Интегрированные системы безопасности строительных объектов и сооружений //Михайлов А. Н.// Электроника: NTB, Спецвыпуск – М: - 2008 – 92 с.

Bibliography (transliterated): 1. *Tarakanovskij V. K.* *Obzor sovremennyh sredstv monitoringa sostojanija konstrukcij vysotnyh zdaniy.* Vestnik Instituta fiziki Zemli im. O.Ju. Shmidta RAN. – М.: – 2010 – 40 p. 2. *Mihajlov A. N.* *Postroenie sistemy monitoringa naprjazhenno-deformirovannogo sostojanija konstrukcij zdaniy i sooruzhenij na osnove sensornyh setej.* Vestnik Sankt-Peterburgskogo gosudarstvennogo politehnicheskogo universiteta. – SPb – 2013 – 56 p. 3. *Gorpichenko V. M., Egorova M. I.* *Monitoring jekspluatacionnoj prigodnosti osobo otvetstvennyh, slozhnyh i unikal'nyh sooruzhenij.* Promyshlennoe i grazhdanskoje stroitel'stvo №10 – 2004 – 4 p. 4. *Grachjov V. I.* *Avtomatizirovannye sistemy monitoringa – sovremennye tendencii v proektirovanii, stroitel'stve i jekspluatacii zdaniy i sooruzhenij.* Strojkompleks Srednego Urala 2011, №9 –37 p. 5. *Pichugin S. F.* *Nadezhnost' stal'nyh konstrukcij proizvodstvennyh zdaniy.* //Associacija stroitel'nyh vuzov – 2011 – 184 p. 6. *Mihajlov A. N.* *Integrirrovannye sistemy bezopasnosti stroitel'nyh ob'ektov i sooruzhenij.* Jelektronika: NTB, Specvypusk – М: - 2008 – 92 p.

Надійшла (received) 26.03.2015

О.П. ДАВИДЕНКО, к.т.н., професор НТУ <<ХПІ>>;
С.В. МІШИНА, магістр НТУ <<ХПІ>>

АНАЛІЗ ФОНОКАРДІОГРАФІЧНИХ ДАНИХ ЗА ДОПОМОГОЮ ВЕЙВЛЕТ-ПЕРЕТВОРЕНЬ

У статті розглянуті недоліки перетворення Фур'є при обробці фонокардіографічних даних. У зв'язку з нестационарністю акустичного сигналу серця пропонується використання вейвлет-перетворень. Обговорюється проблема вибору оптимальної вейвлет-функції для аналізу ФКГ. Пропонується використання пакету LabView у якості програмного забезпечення. Наведені результати досліджень на прикладі ФКГ здорового та хворого серця. Застосування ВП збільшує кількість діагностично важливої інформації, виявляючи ті особливості сигналів, які не можуть бути зареєстровані такими методами, як аускультация і фонокардіографія.

Ключові слова: фонокардіограма, фонокардіографія, нестационарний сигнал, вейвлет-перетворення, перетворення Фур'є, скалограма, обробка .

Вступ. Фонокардіографія (ФКГ) – неінвазивний безпечний та не маючий ніяких протипоказань метод графічної реєстрації тонів та шумів серця, найбільше використовується для діагностики вроджених та набутих пороків серця. ФКГ має великі перспективи застосування в системах дистанційного біомоніторингу та системах домашньої медицини, що особливо актуально для хворих із серцевою недостатністю, які потребують своєчасних і регулярних обстежень. Тому все більш актуальними є дослідження з розробки алгоритмів отримання якісних кардіографічних сигналів.

Аналіз ФКГ дозволяє:

- Розраховувати тривалості тонів, виявляти додаткові тони (Ш, IV, V);
- Проводити порівняльну оцінку форми і амплітуди I і II тонів в різних точках реєстрації;
- Виявляти розщеплення, роздвоєння тонів, клацання відкриття мітрального клапана і т. д. ;
- Виявляти і проводити характеристику шумів серця в різних діапазонах частот;
- Визначати співвідношення між електричною, механічною та електромеханічною систолами і т. д.

ФКГ сигнал містить не тільки корисну інформацію, а й шумові складові, джерелами якої є електроміографічні потенціали скелетних м'язів, артефакти взаємодії мікрофона з прилеглою тканиною, електронний шум підсилювачів і фоновий (мережевий) шум. Обробка фонокардіограм передбачає, зокрема, завдання фільтрації зовнішніх шумів та шумів організму людини [1].

Аналіз останніх досліджень та літератури. При спектральній фонокардіографії синхронно реєструються зміни амплітуди звукових коливань в декількох відносно вузьких діапазонах частот. Оцифрований сигнал ФКГ за допомогою

дискретного перетворення Фур'є аналізується в амплітудно-частотній області. Така спектральна ФКГ дає можливість оцінити повний спектр сигналу, але не дозволяє визначати локальну спектральну складову окремої ділянки ФКГ [2]. Даний вид аналізу ФКГ-сигналу, здійснюваний в частотній області, часто не дає лікареві необхідну і достовірну інформацію про функції серця через невизначеність часового інтервалу (Фур'є-аналіз дає уявлення тільки про частотний діапазон сигналу) і, тому, може виявитися не досить зручним для правильної постановки діагнозу. Перетворення Фур'є (ПФ) дає інформацію тільки про частоту, яка присутня в сигналі і не дає ніякої інформації про те, в який проміжок часу ця частота присутня в сигналі. Для вирішення цієї проблеми спочатку були запропоновані способи, засновані на застосуванні ПФ з часовим вікном [3]. При розвитку теорій було визначено, що крім віконного ПФ можна ввести спеціальний набір базисних функцій, які з точки зору спектрально-часового розрізнення є більш кращими в порівнянні з віконним перетворенням Фур'є. Такі функції були визначені у вигляді «вейвлетів» [4] в роботах Гросмана і Морле на прикладі безперервного вейвлет-перетворення (ВП). У процесі розвитку даних підходів були розроблені дискретні вейвлет-функції. ВП було введено в безперервному і в дискретному виглядах [4,5]. Ці форми перетворення мають ряд суттєвих відмінностей за способами чисельного розрахунку і по набору застосовуваних вейвлет-базисів.

Мета дослідження, постановка задачі. Серцеві тони є складними і дуже нестационарними сигналами за своєю природою. Вони відзначаються основними низькочастотними характеристиками - тонами і високочастотними характеристиками - шумами, що з'являються при різних захворюваннях. З цієї причини застосування ВП для обробки звукових сигналів серця є перспективним напрямком досліджень. ВП, на відміну від ПФ, засноване на застосуванні набагато більшої різноманітності базисних функцій (сімейств базисних функцій), властивості яких орієнтовані на вирішення різних завдань. У даній роботі запропоновано застосування ВП до обробки сигналу ФКГ, оскільки даний метод досить широко використовується в останній час, даючи гарні результати, а крім того, форми деяких материнських вейвлетів подібні до форми ФКГ-сигналу.

Матеріали досліджень. Вимоги, що пред'являються до характеристик реєструючого обладнання, дозволяють використовувати звукову карту комп'ютеру для створення варіанта макету реєстратора тонів та шумів серця. У якості інструменту для проведення вейвлет-аналізу був використаний програмний пакет LabView 2011 фірми National Instruments. Даний продукт має прикладну спрямованість, що дозволяє отримувати результати наукових та інженерних досліджень, не вдаючись в особливості програмування. Створення виконуючої програми являє собою вибір необхідних компонент та з'єднання їх між собою в залежності від поставлених завдань [6].

Результати досліджень. Для експериментального дослідження були взяті ділянки ФКГ з патологією у вигляді раннього аортального стенозу та з нормальною роботою серця (рис.1).

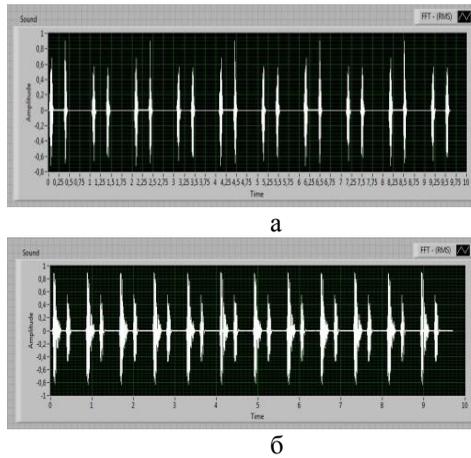
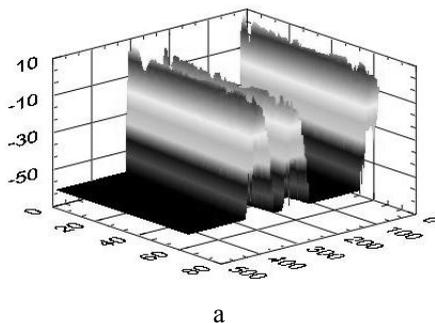
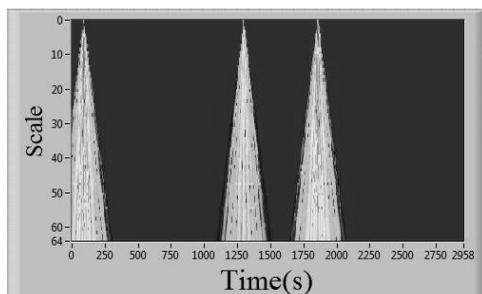


Рис.1 – ФКГ: а – здорової людини, б – при ранньому аортальному стенозі

Задля виявлення впливу типу базисної вейвлет-функції на якість фільтрації ФКГ сигналу були обрані вейвлети Хаара, Сімлета, мексиканський капелюх, Морле, Мейера, Р. Койфмана - койфлети, Добеши та біртогональні вейвлети різних порядків.

Висновки. Найбільш доцільними (з міркувань подібності з основними тонами ФКГ-сигналу) материнськими вейвлетами для правильного і об'єктивного аналізу ФКГ-сигналів виявилися: вейвлет Мейера, Добеши db8, сімплет sym7, вейвлет Морле, біртогональний 3.7, біртогональний 3.9. На рис.2 представлені результати обробки ФКГ здорової людини за допомогою вейвлету Морле.

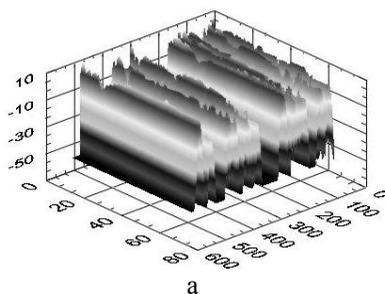




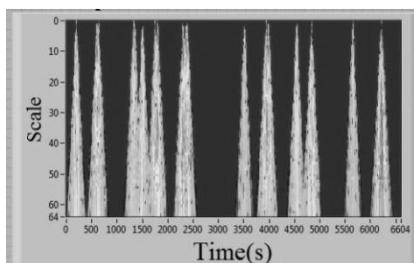
б

Рис. 2 – Результати обробки ФКГ за допомогою вейвлету Морле: а – тримірний графік ВП, б – скалограма ВП при нормальній роботі серця.

На рис.3 представлені результати обробки ФКГ людини хворої на аортальний стеноз за допомогою вейвлету Морле.



а



б

Рис. 3 – Результати обробки ФКГ за допомогою вейвлету Морле: а – тримірний графік ВП, б – скалограма ВП при при ранньому аортальному стенозі.

Даний вейвлет має одну особливість, яка полягає в тому, що для одного і того ж значення масштабу вейвлет-функція може бути локалізована як в низькочастот-

ній області, так і високочастотній області при відповідній зміні значення w . Результати вейвлет-обробки представляються у вигляді амплітудної залежності сигналів, що відображаються кольором на площині «масштаб (scale) - час (time)» (колір несе інформацію про рівень вейвлет-коефіцієнтів). При цьому малі масштаби відповідають високим частотам, а великі - низьким. Для більшої наочності у верхній частині кожного малюнка представлена тривимірною поверхню, що відбиває дані скалограмми. Тривимірні малюнки дозволяють докладніше розглянути особливості отриманих даних. На отриманих зображеннях можна спостерігати періодичне виникнення і затухання тонових і шумових компонентів, відповідне ритму роботи серця. При цьому сигнали з патологіями містять додаткові, відсутні в нормальному сигналі компоненти, які можуть характеризувати тяжкість і вид захворювання. При патологіях ми можемо спостерігати, що ділянки серцево-судинної системи, уражені захворюваннями, проявляються на скалограмі і видають акустичні коливання певного частотного діапазону в певні моменти часу.

Таким чином, застосування ВП збільшує кількість діагностично важливої інформації, виявляючи ті особливості сигналів, які не можуть бути зареєстровані такими методами, як аускультация і фонокардіографія. А використання такого програмного забезпечення як LabView значно полегшує процес збору та аналізу серцевих сигналів. Для збільшення ефективності обробки отриманих даних, пропонується для дослідження ФКГ сигналу використовувати комплексний аналіз, що складається з ПФ та ВП, це надасть можливість усунути зайві шуми і підвищити інформативність отриманого сигналу.

Список літератури: 1. Рانгайян Р.М. Анализ биомедицинских сигналов. Практический подход / Пер. с англ. под ред. А.П. Немирко. – М.: ФИЗМАТЛИТ, 2007. – 440 с. 2. Обробка фонокардіографічного сигналу на основі wavelet технологій / Дацок О.М., Вітанова С.О. // Вісник НТУ "ХПІ". Тематичний випуск: Інформатика і моделювання. – Харків: НТУ "ХПІ", 2008. – № 24. – С. 36 – 41. 3. Астафьева, Н.М. Вейвлет-анализ: основы теории и примеры применения / Н.М. Астафьева // Успехи физических наук. – 1996. – № 11. – С. 1145. 4. Malla, S. A wavelet tour of signal processing / S. Malla. - San Diego: Academic press, 2005. – 577 с. 5. Добеши, И. Десять лекций по вейвлетам / И. Добеши. – Ижевск: НИЦ «Регулярная и хаотическая динамика», 2001. – 464 с. 6. Останин С.А. LabVIEW в биомедицине. — Барнаул: Изд-во ГОУ ВПО «Алтайский государственный медицинский университет», 2009.-226с.

Bibliography (transliterated): 1. Rangajjan R.M. *Analiz biomedicinskih signalov. Prakticheskij podhod* / Per. s angl. pod red. A.P. Nemirko. – M.: FIZMATLIT, 2007. – 440p. 2. Dacok O.M. *Obrobka fonokardiografichnogo signalu na osnovi wavelet tehnologij* / O.M. Dacok, S.O. Vitanova // Visnyk NTU "HPI". Tematichnyj vypusk Informatyka i modeljuvannja. – Kharkiv: NTU "KhPI", 2008. – No 24. – P. 36 – 41. 3. Astaf'eva N.M. *Vejvlet-analiz: osnovy teorii i primery primenenija* / N.M. Astaf'eva // Uspehi fizicheskikh nauk. – 1996. – No 11. – P. 1145. 4. Malla S. *A wavelet tour of signal processing* / S. Malla. - San Diego: Academic press, 2005. – 577p. 5. Dobeshi I. *Desjat' lekcij po vejvletam* / I. Dobeshi. – Izhevsk: NIC «Reguljarnaja i haoticheskaja dinamika», 2001. – 464 p. 6. Ostanin S.A. *LabVIEW v biomedicine*. — Barnaul: Izd-vo GOU VPO «Altajskij gosudarstvennyj medicinskij universitet», 2009.-226p.

Надійшла (received) 30.03.2015

П.А. КАЧАНОВ, д-р техн. наук, профессор НТУ «ХПИ»

А.А. ЗУЕВ, канд. техн. наук, доцент НТУ «ХПИ»

К.Н. ЯЦЕНКО, аспирант НТУ «ХПИ»

БЛОК УСИЛЕНИЯ БИОПОТЕНЦИАЛОВ МОЗГА ОПЕРАТОРА ТРЕНАЖЕРНОГО КОМПЛЕКСА

В статье рассматривается базовая структура и особенности нейрокомпьютерного интерфейса (НКИ). На сегодня этот вид человеко-машинного взаимодействия набирает все большее распространение. Рассмотрено его возможное применение в тренажерных комплексах. Предложена схема блока усиления биопотенциалов мозга человека, как составная часть НКИ. Приведены характеристики и описаны ключевые электронные компоненты схемы. Произведено исследование и симуляция схемы. Рассмотрены ее характеристики.

Ключевые слова: ЭЭГ, нейрокомпьютерный интерфейс, человеко-машинное взаимодействие, AD8220, AD7691.

Введение. За последнее время интерес в изучении нейрокомпьютерного интерфейса (НКИ) значительно возрос. Системы НКИ проложили новый путь коммуникации. Они измеряют нейрофизиологические сигналы человека, в частности электроэнцефалограмму. Системы НКИ спроектированы для декодирования мозговой напряженности человека и генерировании команд управления внешними устройствами или компьютерными приложениями. Человек может выработать эти команды, специально генерируя нейрофизиологические сигналы. Этот процесс может стать более успешным – быстрым и точным – благодаря тренировке и практике. Эта технология позволяет пользователю получить новый опыт, который включает в себя прямое взаимодействие между человеком и компьютером, или внешними устройствами. Такие системы могут быть применены при обучении оператора военного тренажерного комплекса. Они могут быть использованы для организации управления комплексом, диагностики психоэмоционального состояния оператора.

Системы НКИ состоят из двух частей: система сбора информации и система обработки сигнала. Система сбора информации включает в себя электроды, аналоговую схему усиления и цифровую систему для передачи нейрофизиологического сигнала. Система обработки сигнала представляет собой вычислительное устройство, которое совместно с программным приложением выделяет, классифицирует и преобразовывает нейрофизиологические сигналы в удобный для дальнейшего исследования формат [1].

Электроэнцефалограмма представляет собой запись колебаний разности потенциалов мозга, снимаемых через покровы черепа. Колебания потенциалов имеют амплитуду до 150 мкВ при средней величине 50 мкВ и лежат в частотном диапазоне от 0.3 до 1000 Гц с максимальным проявлением частоты 10 Гц. Малая амплитуда колебаний биопотенциалов мозга и низкочастотный

диапазон и определяет специфику конструкции электроэнцефалографических установок. Микровольтовая величина потенциалов требует применения маломощных схем с большим коэффициентом усиления [2].

Цель работы. В работе предлагается реализация блока усиления биопотенциалов мозга человека, как составной части НКИ. Характеристики устройства будут определяться физическими показателями исследуемого сигнала, а также на основании рекомендаций предъявляемых медицинскими учреждениями к биомедицинскому оборудованию [3]. Проведено описание и выбор элементной базы компонентов, а так же предварительная симуляция блока.

Методика исследования. На рис. 1 представлена схема усиления биопотенциалов мозга. Рассмотрим некоторое функциональное назначение элементов схемы. На входе электрода расположен RC фильтр (R4, R5, C1, C9, C10) обеспечивающий уменьшение высокочастотного шума. Это позволяет избежать появления смещения сигнала на выходе усилителя. Для защиты схемы от статического электричества применяются сдвоенные диоды BAV99.

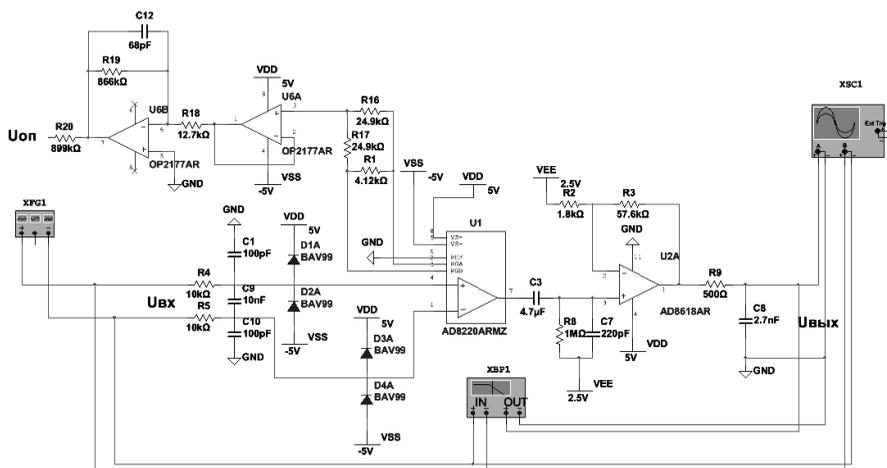


Рис. 1 – Принципиальная схема блока усиления

Они обладают малым током утечки, что позволяет избежать ухудшения характеристик схемы относительно малого тока смещения. Диоды предотвращают появление напряжений на входе усилителя превышающих допустимые.

AD8220 представляет собой инструментальный усилитель с входным каскадом на JFET транзисторах (полевые транзисторы с управляющим р-п переходом) и однополярным питанием [4]. Этот компонент, предназначенный для высококачественных портативных измерительных приборов, обладает

дает минимальным коэффициентом ослабления синфазного сигнала (КОСС) 86 дБ по постоянному току и 80 дБ на частоте 5 кГц при $G = 1$. Максимальный входной ток смещения при температуре 25°C равен 10 пА, а его типичное значение не превышает 300 пА во всем промышленном температурном диапазоне. Несмотря на то, что входной каскад построен на JFET транзисторах, AD8220 имеет типичную граничную частоту шума всего 10 Гц. Выходной каскад работает в режиме rail-to-rail (размах напряжения до напряжений питания), поддерживая максимальный динамический диапазон при низких напряжениях питания, характерных для портативных систем. Способность компонента работать от однополярного напряжения питания 5 В избавляет от необходимости применения высоких биполярных напряжений питания. Максимальный ток, потребляемый AD8220, равен 750 мкА, что делает его идеальным выбором для устройств с питанием от батарей. Коэффициент усиления задается при помощи одного резистора в диапазоне от 1 до 1000. При повышении коэффициента усиления ослабление синфазного сигнала также растет. AD8220 способен обеспечивать больший КОСС при измерении слабых сигналов, когда устанавливается большой коэффициент усиления.

За AD8220 следует фильтр высоких частот $f_c = 0.033$ Гц сформированный из конденсатора 4.7 мкФ и сопротивления 1 Мом (C3, R8), которые убирают постоянную составляющую сигнала, возникающую между электродами. Дополнительное усиление $G=50$ производимое с помощью AD8618 позволяет использовать весь входной диапазон АЦП от 0 В до 5 В. Фильтр нижних частот реализован с помощью резистора 500 Ом и конденсатора 2.7 нФ (R9, C8). Он так же выполняет функцию хранения и переноса заряда на входной коммутируемый конденсатор АЦП.

На операционных усилителях OP2177 реализован буферный усилитель и инвертор. Происходит усиление синфазного сигнала взятого со средней точки резистора задания усиления для AD8220. Эта схема позволяет убрать синфазные сигналы, инвертируя их обратно в тело. Резистор 899 кОм (R20) выхода OP2177 ограничивает ток проходящий через тело.

AD7691 - это 18-разрядный аналого-цифровой преобразователь (АЦП) последовательного приближения с перераспределением заряда, работающий с однополярным напряжением питания, VDD, от 2.3 В до 5 В [5]. Он включает в себя быстродействующий, малопотребляющий 18-разрядный АЦП с внутренней выборкой без пропуска кодов, внутренний генератор тактового сигнала преобразования и универсальный последовательный порт. По переднему фронту сигнала CNV компонент осуществляет выборку разности между напряжениями на выводах IN+ и IN-. Напряжения на этих выводах обычно изменяются в противофазе в диапазоне от 0 В до опорного напряжения (REF). Компонент работает с внешним опорным напряжением, которое может устанавливаться в пределах до напряжения питания. Потребляемая компонентом мощность линейно изменяется в зависимости от скорости преобразования. Совместимый с SPI последовательный интерфейс поддерживает

возможность объединения нескольких АЦП в цепочку с последовательным опросом на одной трехпроводной шине, используя вход SDI, и имеет опциональный выходной сигнал индикации занятости. Благодаря отдельному напряжению питания, VIO, порт совместим с логическими схемами, работающими с напряжениями питания 1.8 В, 2.5 В, 3 В или 5 В.

В системе учитываются особые требования к источнику питания. Микросхема ADR4550 служит источником опорного напряжения для АЦП. Она обладает низким энергопотреблением и малым температурным дрейфом. Полный размах шума (в полосе частот 0,1...10 Гц) составляет 2 мкВ. Выходное напряжение равно 5 В. Погрешность напряжения на выходе не превышает $\pm 0.02\%$, максимальное значение температурного дрейфа равно 2 ppm/°C. Коэффициент подавления пульсаций (в полосе частот до 1 кГц) равен 90 дБ. Ток потребления не превышает 950 мкА, напряжение питания — от 3 до 15 В. Падение напряжения составляет 300 мВ при токе нагрузки 2 мА, максимальная нагрузка данных источников опорного напряжения равна ± 10 мА.

Результаты исследования. Рассмотренная схема была промоделирована в среде Multisim 12.

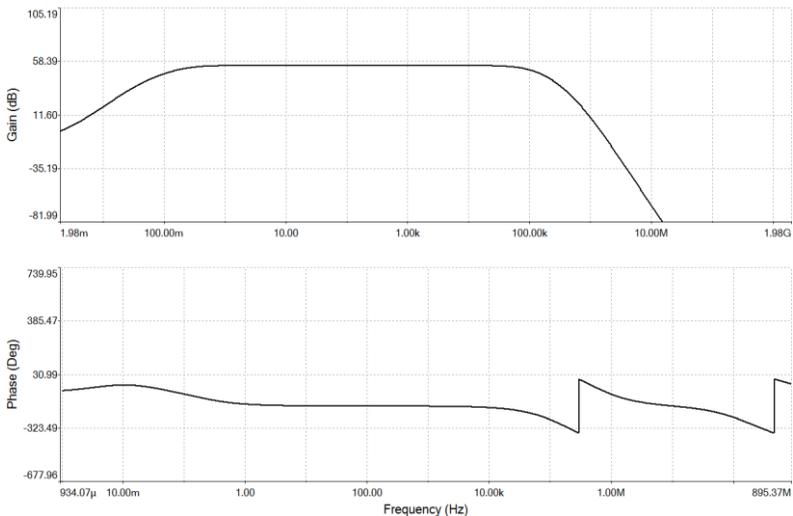


Рис. 2 – Амплитудно-частотная и фазо-частотная характеристики исследуемой схемы.

Были получены амплитудно-частотная и фазо-частотная характеристики схемы (рис. 2). Из амплитудно-частотной характеристики следует, что нижняя граничная частота составляет порядка 0,04 Гц, а верхняя – 95 кГц. Этих показателей с избытком достаточно для проведения дальнейших исследований. Суммарный коэффициент усиления схемы составляет приблизительно G

= 700. Однако это значение в ходе дальнейших экспериментов может быть изменено.

Выводы. Предложенная схема усиления биопотенциалов мозга человека соответствует рекомендациям, предъявляемым к медицинскому диагностическому оборудованию. Данная схема может применяться в портативных устройствах ввиду своего малого энергопотребления. В дальнейшем будет произведено усовершенствование устройства: организована беспроводная передача сигнала на компьютер с последующей его обработкой и отображением.

Список литературы: **1.** *Reza Fazel-Rezai.* Brain - Computer Interface Systems. Recent Progress and Future Prospects. / *Reza Fazel-Rezai.* – InTech, 2013. – 278 с. **2.** *Русинов В.С.* Клиническая электроэнцефалография. / *Русинов В.С.* - М., «Медицина», 1973. - 345 с. **3.** Guidelines to Digital EEG Recorders. Режим доступа: ftp://ansuk.org/pub/clinical_governance/dig_eeg.pdf. **4.** Документация на AD8220. Режим доступа: http://www.analog.com/static/imported-files/data_sheets/AD8220.pdf. **5.** Документация на AD7691. Режим доступа: http://www.analog.com/static/imported-files/data_sheets/AD7691.pdf

Bibliography (transliterated): **1.** *Fazel-Rezai, Reza.* Brain - Computer Interface Systems. Recent Progress and Future Prospects. InTech, 2013. Print. **2.** *Rusinov, V. S.* *Klinicheskaja jelektroencefalografija.* Moscow: Medicina, 1973. Print. **3.** Guidelines to Digital EEG Recorders. Web. 5 January 2015 <ftp://ansuk.org/pub/clinical_governance/dig_eeg.pdf>. **4.** Datasheet AD8220. Web. 5 January 2015 <http://www.analog.com/static/imported-files/data_sheets/AD8220.pdf>. **5.** Datasheet AD7691. Web. 5 January 2015 <http://www.analog.com/static/imported-files/data_sheets/AD7691.pdf>.

Поступила (received) 11.03.2015

С. І. КОНДРАШОВ, док. техн. наук, проф. НТУ «ХП»
Р. П. МИГУЩЕНКО, док. техн. наук, проф. НТУ «ХП»
М. І. ОПРИШКІНА, канд. техн. наук, доц. НТУ «ХП»
О. В. МАЦАК, студент НТУ «ХП»

СИСТЕМА ТЕСТОВОГО КОНТРОЛЮ МЕТРОЛОГІЧНИХ ХАРАКТЕРИСТИК ТЕХНОЛОГІЧНОГО ПРОЦЕСУ

У роботі розглянуті актуальні питання підвищення точності первинних вимірювальних перетворювачів з нелінійною дробово-раціональною функцією перетворення. Розроблена система тестового контролю метрологічних характеристик вимірювальних каналів дозволила підвищити якість продукції та заощадити технічні і матеріальні ресурси. Підвищення точності ємнісного каналу вимірювання у автоматичній ливарній машині після застосування системи становить 15%. Впровадження системи дозволило контролювати стан первинних перетворювачів без переривання технологічного процесу.

Ключові слова: тестовий контроль, ємнісний давач, реляційно-різницева модель.

Вступ. На сьогоднішній день у багатьох галузях промисловості виникає необхідність контролювати параметри первинних вимірювальних перетворювачів (ПВП). Більшість технологічних процесів не можуть бути зупинені для перевірки метрологічних характеристик ПВП, а самі давачі є вбудованими у технологічний процес і не можуть бути виключеними для проведення контролю їх характеристик. Так, у металургійному виробництві, на ливарній машині, проводиться початковий контроль працездатності ємнісних давачів. Під час роботи первинні вимірювальні перетворювачі змінюють свої характеристики, а зупинити технологічний процес розливу металу та виконати перевірку давачів немає можливості. Виникає задача проведення бездемонтажного тестового контролю ПВП з метою підвищення точності давачів, що мають дробово-раціональну функцію перетворення [1].

Наукові результати, отримані у роботі [2], та результати комп'ютерної обробки багаторазових вимірів вихідних сигналів ємнісного перетворювача дозволили розробити системі тестового контролю характеристик вимірювальних каналів, які у якості первинних перетворювачів мають ємнісний вимірювач рівня металу (сплав ЦАМ 4-1) у автоматичній ливарній машині. Від точності роботи ємнісного давача залежить якість виробленої деталі. При недоливі металу у прес-форму виникають порожнини (брак деталі), а перелив металу призводить до зайвих матеріальних витрат. Контроль рівня металу дає можливість підвищити кількість якісних деталей. Проведення своєчасного тестового контролю ПВП з дробово-раціональною функцією перетворення є актуальною задачею, що не вирішена для даного класу перетворювачів.

При вимірюванні рівня рідких та сипких матеріалів знаходять

застосування циліндричні конденсатори (рис. 1), ємність яких характеризується рівнем x та залежить від діелектричних проникностей рідини ϵ_1 , ізоляції ϵ_2 та повітря ϵ_3 .

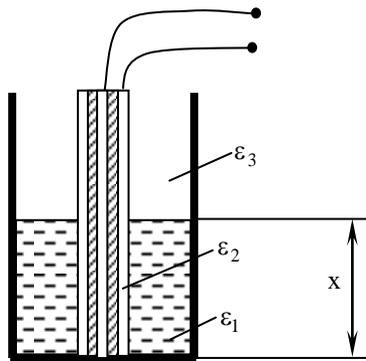


Рис. 1 – Циліндричний ємнісний датчик рівня

На рис. 1 наведено пристрій ємнісного перетворювача для вимірювання рівня металу у тигелі. Перетворювач складається з двох паралельно з'єднаних конденсаторів: конденсатор C_1 утворений частиною електродів та діелектриком – рідиною, рівень якої вимірюється; конденсатор C_0 – іншою частиною електродів та діелектриком – повітрям. Ємність перетворювача

$$C = C_1 + C_0 = \left[\ell \cdot \epsilon + (\ell_0 - \ell) \epsilon_0 \right] \frac{2\pi}{\ln(R_1/R_2)} \quad (1)$$

де ℓ_0 – повна довжина циліндра;

ℓ – довжина, на яку циліндр заповнений рідиною;

ϵ – діелектрична проникність рідини;

R_1 та R_2 – радіуси зовнішнього та внутрішнього циліндрів.

Ємнісний ПВП фіксує рівень рідкого металу в стакані через показники ємності.

Система тестового контролю ємнісного вимірювального перетворювача рівню металу працює наступним чином.

Алгоритм тестового контролю ємнісного давача.

Алгоритм тестового контролю потребує одне основне вимірювання та два вимірювання після проведення тестів. У якості тесту θ використано готову деталь, яку поміщають у тигель та вимірюють значення ємності $(\ell + \theta)$:

$$C_1(\theta) = C_1 + C_0 = \left[(\ell + \theta) \cdot \epsilon + (\ell_0 - (\ell + \theta)) \epsilon_0 \right] \frac{2\pi}{\ln(R_1/R_2)} \quad (2)$$

Для отримання значення другого тесту $(\ell - \theta)$ проводять послідовно від-

лив двох деталей.

$$C_2(\theta) = C_1 + C_0 = [(\ell - \theta) \cdot \varepsilon + (\ell_0 - (\ell - \theta))\varepsilon_0] \frac{2\pi}{\ln(R_1/R_2)} \quad (3)$$

де $y_0 = C$ – результат основного вимірювання;

$y_1 = C_1(\theta)$, $y_2 = C_2(\theta)$ – результати вимірювання після тестових впливів.

Розрахункова оцінка вимірюваної величини \hat{x} знаходиться за формулою

$$\hat{x} = \frac{y_2 - y_0}{y_0 - y_1} \cdot \theta, \quad \hat{x} = \frac{\Delta y_{20}}{\Delta y_{01}} \theta = \psi \cdot \theta \quad (4)$$

де ψ – реляційно-різницева модель оператора корекції.

На підприємстві для перевірки рівню металу у тигелі проводилися виміри напруги з емісійного моста у трьох точках шкали: на мініальному, середньому та максимальному рівні металу. У кожній точці шкали проводилося 30 вимірів, що достатньо для проведення статистичної обробки результатів вимірів. Для перевірки відповідності отриманих результатів нормальному закону розподілу було використано складений критерій помилки. На підставі отриманих експериментальних даних було побудовано графіки щільності ймовірності розподілу випадкової похибки (рис. 2-4, відповідно). Математичний вираз нормального закону розподілу випадкових похибок результатів виміру напруги має вигляд

$$P(\Delta) = \frac{1}{\sigma\sqrt{2\pi}} e^{-\frac{\Delta U^2}{2\sigma^2}} \quad (5)$$

де σ – середньоквадратичне відхилення похибок ряду з n вимірів.

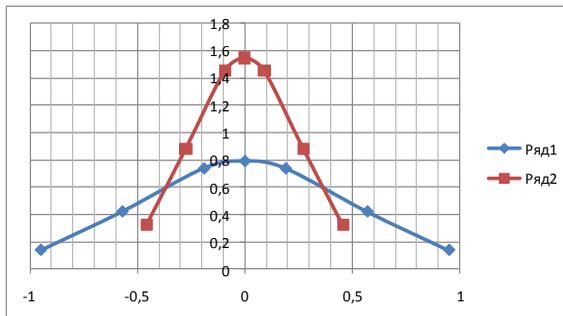


Рис. 2 – Порівняльні характеристики закону розподілу випадкових складових похибки результатів вимірювань до (ряд 1) та після (ряд 2) впровадження системи тестового контролю для максимального рівню металу у тигелі

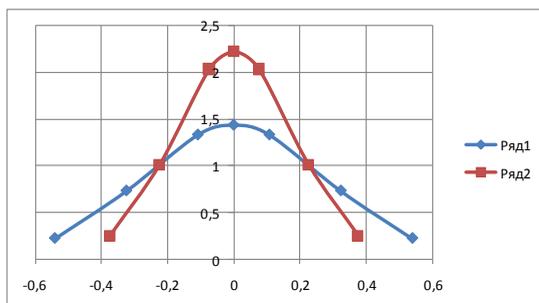


Рис. 3 – Похибки результатів вимірювань до (ряд 1) та після (ряд 2) впровадження системи тестового контролю для середнього рівню металу у тигелі

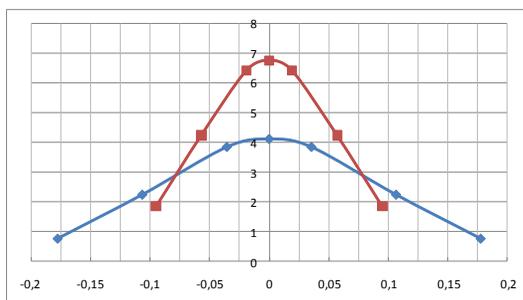


Рис. 4 – Похибки результатів вимірювань до (ряд 1) та після (ряд 2) впровадження системи тестового контролю для початкового рівню металу у тигелі

Висновки. По результатам тестового контролю робиться висновок про придатність давача до подальшої експлуатації і при необхідності вводиться корекція у вхідний сигнал. Процедуру контролю виконує центральний процесор. Виходячи з особливостей технологічного процесу необхідно проводити тестовий контроль один раз за виробничий цикл (24 години). Впровадження системи тестового контролю дозволило підвищити точність вимірів по ємнісному каналу на 15%.

Список літератури: 1. *Опрышкина М. И.* Повышение точности измерений преобразователей с дробно-рациональными функциями преобразования. Матриали міжнародної наук.-техн. конференції "Автоматизація: проблеми, ідеї, рішення" СевНТУ – 2011. – 188 с 2. *Опрышкина М. И.* Методика аналізу похибок нелінійності операторів корекції /С. I. Кондрашов, М. I. Опришкина // VIII Міжнар. наук.-тех. конф. "Метрологія та вимірювальна техніка (Метрологія – 2012)". Тези доповідей. Харків: ННЦ "Інститут метрології" – 2012. – 624-627 с.3. *Опрышкина М. И.* Реперные реля-

ционно-разностные модели в задачах коррекции систематических погрешностей / С. И. Кондрашов, М. И. Опришкіна // Сборник научных трудов по материалам 2-го международного форума "Прикладная радиоэлектроника. Состояние и перспективы развития МРФ-2005" Т. VII МК МИТ. – Харьков. : АНПРЭ, ХНУРЕ. – 2005. – 102-105 **4.** Опришкіна М. И. Лінеаризуючі та стабілізуючі властивості реляційно-різницевих шкал / С. І. Кондрашов, М. І. Опришкіна // Збірник наукових праць за матеріалами 10-го молодіжного форуму "Радиоелектроніка і моладь в XXI ст." – Харків. : ХНУРЕ. – 2006. – 434 с. **5.** Опришкіна М. И. Функціональний аналіз РРМ оператора корекції похибок ВП з нелінійною дробово-раціональною функцією перетворення / С. І. Кондрашов, М. І. Опришкіна // Наук. праці V МНТК "Метрологія та вимірювальна техніка" (Метрологія-2006) у 2-х томах. Т.2. – Харків. : ННЦ "Інститут метрології". – 2006. – С. 368-371. **6.** Опришкіна М. И. Лінеаризація оператора корекції похибок вимірювального перетворювача методом гіпербол / С. І. Кондрашов, Ю. О. Скрипник, М. І. Опришкіна // VI МНТК "Метрологія та вимірювальна техніка (Метрологія-2008)" Праці конференції у 2-х томах. – Харків. : ННЦ "Інститут метрології". – 2008. Т.2. – с. 297-300. **7.** Опришкіна М. И. Тестовий контроль вимірювальних перетворювачів з дробово-раціональною функцією перетворення / М. І. Опришкіна, Є. В. Шоломії // XIX МНТК "Інформаційні технології: наука, техніка, технології, освіта, здоров'я". Тези доповідей. – Харків, НТУ "ХПІ". – 2011р. – с. 123.

Bibliography (transliterated): **1.** Opryshkina M. I. Povyshenie tochnosti izmerenij preobrazovatelej s drobno-racional'nymi funktsijami preobrazovanija. Matriali mizhnarodnoї nauk.-tehn. konferenції "Автоматизація: проблеми, ідеї, рішення" SevNTU – 2011. – p. 188. **2.** Opryshkina M. I. Repernye reljacionno-raznostnye modeli v zadachah korrekcii sistematičeskikh pogreshnostej / S. I. Kondrashov, M. I. Opryshkina // Sbornik nauchnyh trudov po materialam 2-go mezhdunarodnogo foruma "Prikladnaja radioelektronika. Sostojanie i perspektivy razvitija MRF-2005" T.VII MK MIT. – Kharkov. : ANPRJe, KhNURE. – 2005. – p. 102-105. **3.** Opryshkina M. I. Linearyzuyuchi ta stabilizuyuchi vlastyvostry reljacyjno-ryznyeuyvsh skhal / S. I. Kondrashov, M. I. Opryshkina // Zbirnyk naukovykh prac za materialamy 10-go molodizhnogo forumu "Radioelektronika i molod v XXI st." – Kharkiv. : KhNURE. – 2006. – p. 434. **4.** Opryshkina M. I. Funkcional'nyj analiz RRM operatora korekcyi poxy' bok VP z nelinejnyou drobovo-racional'noy funkciyeu peretvorennja / S. I. Kondrashov, M. I. Opryshkina // Nauk. pracj V MNTK "Metrologiya ta vymiryval'na texnika" (Metrologiya-2006) in 2 volumes. Vol.2. – Kharkiv. : NNCz "Insty't metrologiyi". – 2006. – p. 368-371. **5.** Opryshkina M. I. Linearyzacya operatora korekcyi poxy' bok vy'miryval'nogo peretvoryuvacha metodom giperbol / S. I. Kondrashov, Y. O. Skrypnyk, M. I. Opryshkina // VI MNTK "Metrologiya ta vymiryval'na texnika (Metrologiya-2008)" Praci konferenčiyi in 2 volumes. – Kharkiv. : NNCz "Insty't metrologiyi". – 2008. Vol.2. – p. 297-300. **6.** Opryshkina M. I. Testovij kontrol vymiryvalnyx peretvoryuvachiv z drobno-racionalnoy funkciyeu peretvorennja / M. I. Opryshkina, Y. V. Sholomij // XIX MNTK "Informacijni tehnologiyi: nauka, texnika, tehnologiyi, osvita, zdorovyja". Tezy dopovidej. – Kharkiv, NTU "KhPI". – 2011. – p. 123. **7.** Opryshkina M. I. Metodyka analizu poxy' bok nelinejnosti operatoriv korekcyi / S. I. Kondrashov, M. I. Opryshkina // VIII Mizhnar. nauk.-tex. konf. "Metrologiya ta vymiryvalna texnika (Metrologiya – 2012)". Tezy dopovidej. Kharkiv: NNCz "Insty't metrologiyi" – 2012. – p. 624-627

Надійшла (received) 07.04.2015

Д.В. КОТОВ, к.ф.-м.н., н.с., Институт ионосферы, Харьков;
А.В. БОГОМАЗ, к.т.н., н.с., Институт ионосферы, Харьков

ПОГРЕШНОСТИ ОПРЕДЕЛЕНИЯ ВЫСОТЫ ПЕРЕХОДА К ЛЁГКИМ ИОНАМ ПРИ ИССЛЕДОВАНИИ ИОНОСФЕРЫ МЕТОДОМ НЕКОГЕРЕНТНОГО РАССЕЯНИЯ

Исследованы погрешности высоты перехода к лёгким ионам, измеряемой с помощью метода некогерентного рассеяния. Проведено моделирование решений прямой и обратной радиофизических задач. Результаты моделирования свидетельствуют о том, что главный вклад в погрешность определения высоты перехода к лёгким ионам вносят статистические погрешности измерений относительных концентраций ионов водорода и гелия. Методические погрешности малы по сравнению со статистическими.

Ключевые слова: радар некогерентного рассеяния, высота перехода к лёгким ионам, моделирование, погрешности.

Введение. Одним из наиболее важных параметров, характеризующих ионный состав ионосферы Земли и используемых для моделирования распределения концентрации электронов N выше максимума ионизации ионосферы, является высота перехода к лёгким ионам H_T [1].

Высота H_T может быть определена по результатам измерений относительных концентраций лёгких ионов (водорода и гелия) – $N(\text{H}^+)/N$ и $N(\text{He}^+)/N$; на высоте H_T суммарная относительная концентрация лёгких ионов $N(\text{H}^+)/N + N(\text{He}^+)/N = 50\%$.

Метод некогерентного рассеяния (НР) [2, 3] в некоторых случаях позволяет определять относительные концентрации упомянутых ионов. Среди более чем десяти существующих в мире радаров НР только четыре способны измерять ионный состав вплоть до высоты H_T . Одним из этих радаров является радар НР Института ионосферы [3].

Радар НР Института ионосферы расположен вблизи Харькова (49.6° с.ш., 36.3° в.д.). Радар работает на частоте 158 МГц и использует параболическую антенну диаметром 100 м для излучения зондирующих радиоимпульсов в ионосферу и приёма НР сигнала [4]. Параметры ионосферной плазмы определяются по результатам решения обратной радиофизической задачи с использованием в качестве исходных данных измеренных автокорреляционных функций (АКФ) принятого сигнала [5].

Постановка задачи. Для исследования лёгких ионов приходится использовать простые длинные зондирующие радиоимпульсы (радар Института ионосферы излучает в ионосферу импульс длительностью около 650 мкс). Это вызвано необходимостью увеличить отношение сигнал/шум, которое может быть существенно меньше единицы для сигналов, рассеянных выше максимума ионизации ионосферы. Очевидно, что при этом ухудшается

высотная разрешающая способность определения параметров ионосферной плазмы (длительности 650 мкс соответствует высотное разрешение около 100 км). При этом возможно возникновение смещений оценок параметров $N(\text{H}^+)/N$ и $N(\text{He}^+)/N$ и, как следствие, смещения оценки высоты H_T . Также, поскольку НР сигнал является случайным процессом, даже при большом значении отношения сигнал/шум всегда присутствуют статистические погрешности оценок искомым параметрам. Величина возможных смещений и статистических погрешностей определения H_T до настоящего времени не была исследована.

Цель настоящей статьи состоит в оценивании погрешностей определения высоты перехода к лёгким ионам H_T при использовании метода некогерентного рассеяния и длинных зондирующих радиоимпульсов.

Моделирование. Для оценивания возможных смещений относительных концентраций ионов водорода и гелия, обусловленных недостаточно высотной разрешающей способностью метода НР, проводилось моделирование решения прямой и обратной радиофизических задач.

Решение прямой радиофизической задачи состояло в моделировании “измеренной” АКФ НР сигнала $R^*(\tau, h)$ с учётом всех особенностей процесса НР и аппаратных характеристик радара НР [6, 7]:

$$R^*(\tau, h) = \int_{-\infty}^{\infty} \int_0^{\infty} d\theta dr R_{IS}(\theta, r) W_{\tau}(\theta, r). \quad (1)$$

Здесь $W_{\tau}(\theta, r) = \int_{-\infty}^{\infty} \int_{-\infty}^{\infty} ds dr W_t(s, r) W_{t+\tau}(s+\theta, r)$ – двумерная функция

неопределённости (ДФН) АКФ НР сигнала [6–8], $W_{\tau}(s, r) = g(t-s)p\left(s - \frac{2r}{c}\right)$, $g(t)$ – импульсная характеристика радиоприёмного устройства радара НР, $p(t)$ – огибающая излучаемого в ионосферу радиоимпульса, $t = 2h/c$, h – высота, для которой моделируется “измеренная” АКФ, $R_{IS}(\theta, r)$ – АКФ НР сигнала, рассеянного на высоте r .

Для моделирования мы использовали импульсную характеристику фильтра, применяющегося в режиме исследования лёгких ионов, а также реальную огибающую излучаемого радиоимпульса [9]. Для расчёта АКФ $R_{IS}(\theta, r)$ использовались высотные распределения концентрации электронов, температур ионов и электронов, а также относительных концентраций ионов H^+ и He^+ , взятые из модели ионосферы International Reference Ionosphere-2012 (на рис. 1 приведен пример модельных распределений для зимнего солнцестояния при низкой солнечной активности в полночь по местному солнечному времени; данный вид высотных распределений является типичным). Мы

применили также дополнительное треугольное суммирование полученных АКФ $R^*(\tau, h)$ [6] подобно тому, как это делается при анализе экспериментальных данных.

Решение обратной радиофизической задачи с использованием рассчитанных “измеренных” АКФ НР сигнала $R^*(\tau, h)$ позволило получить “измеренные” оценки параметров ионосферной плазмы. При решении обратной задачи проводилось сравнение функций $R^*(\tau, h)$ с подвергнутыми треугольному суммированию функциями

$$R_M(\tau, h) = \int_{-\infty}^{\infty} \int_0^{\infty} d\theta dr R^*(0, r) \rho(\theta) W_{\tau}(\theta, r), \quad (2)$$

где $\rho(\theta)$ – теоретический коэффициент корреляции НР сигнала при заданных значениях параметров плазмы, которые считаются не зависящими от высоты. Подобный подход является промежуточным между так называемым “gated” анализом [10] и “full-profile” анализом [6, 7], поскольку для расчёта АКФ, которые затем сравниваются с измеренными функциями, мы используем ДФН (как это делается в работе [10]), но считаем при этом, что только мощность НР сигнала изменяется с высотой.

Результаты модельных исследований показывают, что вовлечение в расчёты измеренного высотного распределения $R^*(0, h)$ существенно уменьшает смещения оценок параметров ионосферной плазмы. Так, для температур ионов и электронов абсолютная величина смещений не превышают нескольких десятков кельвин для верхней ионосферы (без использования $R^*(0, h)$ погрешности достигают 100–200 К).

Абсолютная величина смещений оценок параметров $N(H^+)/N$ и $N(He^+)/N$ не превышает 1–2% (рис. 1), что существенно меньше величины статистических погрешностей (обычно около высоты H_T среднеквадратическое отклонение суммы относительных концентраций ионов H^+ и He^+ $\sigma_F \approx 10$ –15% при временном усреднении экспериментальных данных на интервале 15 минут).

Следовательно, при использовании модели измерительных преобразований (2) погрешность определения высоты H_T фактически определяется статистическим разбросом относительных концентраций ионов H^+ и He^+ . Оценим величину такой погрешности.

Как следует из рис. 1, высотная зависимость суммарной относительной концентрации ионов H^+ и He^+ является практически линейной в широком диапазоне значений около на которой $N(H^+)/N + N(He^+)/N = 50\%$ (около H_T). Это означает, что в первом приближении среднеквадратическое отклонение оценки высоты перехода к лёгким ионам $\sigma(H_T)$ может быть записано так:

$$\sigma(H_T) \approx \sigma_F \left(\frac{\partial(N(\text{H}^+)/N + N(\text{He}^+)/N)}{\partial h} \right)^{-1} \quad (3)$$

где $\frac{\partial(N(\text{H}^+)/N + N(\text{He}^+)/N)}{\partial h}$ – высотный градиент суммарной относительной концентрации лёгких ионов ($\approx 0,7-1$ % / км).

Тогда $\sigma(H_T) \approx 10-20$ км. Такая величина погрешности является вполне приемлемой, поскольку даже минимальные значения H_T превышают 450 км.

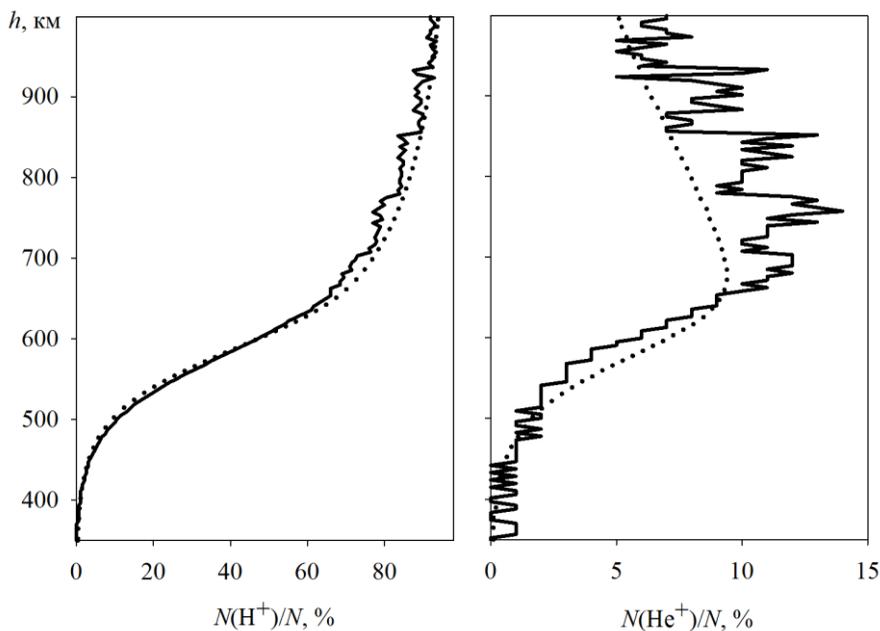


Рис. 1 – Модельные высотные профили относительных концентраций ионов водорода и гелия, использованные для решения прямой радиофизической задачи (точки) и результаты решения обратной радиофизической задачи (сплошная линия).

Выводы. Проведенные модельные исследования позволили оценить величину погрешности определения высоты перехода к лёгким ионам с помощью метода некогерентного рассеяния. Установлено, что использование длинного (650 мкс) зондирующего импульса не приводит к сколько-нибудь существенному смещению оценок высоты H_T , а статистическая погрешность оценки не превышает 20 км.

Список литературы: 1. Брюнелли Б. Е. Физика ионосферы / Б. Е. Брюнелли, А. А. Намгаладзе. – М.: Наука, 1988. – 528 с. 2. Эванс Дж. В. Теоретические и практические вопросы исследования ионосферы методом некогерентного рассеяния радиоволн / Дж. В. Эванс // ТИИЭР. – 1969. – Т. 8. – № 4. – С. 139–175. 3. Таран В. И. Исследование ионосферы в естественном и искусственно возмущенном состояниях методом некогерентного рассеяния / В. И. Таран // Геоматнетизм и аэронавигация. – 2001. – Т. 41. – № 5. – С. 659–666. 4. Domnin I. F. Kharkiv incoherent scatter facility / I. F. Domnin, Ya. M. Chepurnyy, L. Ya. Emelyanov, S. V. Chernyaev, A. F. Kononenko, D. V. Kotov, O. V. Bogomaz, D. A. Iskra // Bulletin of the National Technical University “Kharkiv Polytechnic Institute”. Series: Radiophysics and Ionosphere. – 2014. – № 47 (1089). – P. 28–42. 5. Лысенко В. Н. Измерение параметров ионосферы средствами корреляционной обработки некогерентно рассеянного сигнала / В. Н. Лысенко // Радиофизика и электроника. – 2002. – Т. 7. – № 1. – С. 82–88. 6. Holt J. M. Optimal analysis of incoherent scatter radar data / J. M. Holt, D. A. Rhoda, D. Tetenbaum, A. P. van Eyken // Radio Science. – 1992. – Vol. 27, №. 3. – P. 435–447. 7. Hysell D. L. Full profile incoherent scatter analysis at Jicamarca / D. L. Hysell, F. S. Rodrigues, J. L. Chau, J. D. Huba // Ann. Geophys. – 2008. – № 26. – P. 59–75. 8. Сюсюк М. Н. Моделирование двумерной функции неопределённости радара некогерентного рассеяния / М. Н. Сюсюк, Д. В. Котов, А. В. Богомаз // Вестник Национального технического университета “Харьковский политехнический институт”. – 2011. – № 44. – С. 81–84. 9. Котов Д. В. О влиянии огибающей излучаемого радиоимпульса на оценки плазменных температур, определяемых с помощью метода некогерентного рассеяния / Д. В. Котов, А. В. Богомаз, А. И. Лялюк, Д. А. Искра // Вестник НТУ «ХПИ». Автоматика и приборостроение. – Харьков. – 2014. – № 67 – С. 29–32. 10. Hysell D. L. Topside measurements at Jicamarca during solar minimum / D. L. Hysell, J. L. Chau, J. D. Huba. – Ann. Geophys. – 2009. – № 27. – P. 427–439.

Bibliography (transliterated): 1. Brjunelli B. E. *Fizika ionosfery* / B. E. Brjunelli, A. A. Namgaladze. – M.: Nauka, 1988. – 528 p. 2. Jevans Dzh. V. *Teoreticheskie i prakticheskie voprosy issledovanija ionosfery metodom nekogerentnogo rassejanija radiovoln* / Dzh. V. Jevans // ТИИЭР. – 1969. – V. 8. – No 4. – p. 139–175. 3. Taran V. I. *Issledovanie ionosfery v estestvennom i iskusstvenno vozmushhennom sostojanijah metodom nekogerentnogo rassejanija* / V. I. Taran // Geomagnetizm i aeronomija. – 2001. – V. 41. – No 5. – p. 659–666. 4. Domnin I. F. *Kharkiv incoherent scatter facility* / I. F. Domnin, Ya. M. Chepurnyy, L. Ya. Emelyanov, S. V. Chernyaev, A. F. Kononenko, D. V. Kotov, O. V. Bogomaz, D. A. Iskra // Bulletin of the National Technical University “Kharkiv Polytechnic Institute”. Series: Radiophysics and Ionosphere. – 2014. – No 47 (1089). – P. 28–42. 5. Lysenko V. N. *Izmerenie parametrov ionosfery sredstvami korreljacionnoj obrabotki nekogerentno rassejannogo signala* / V. N. Lysenko // Radiofizika i jelektronika. – 2002. – V. 7. – No 1. – p. 82–88. 6. Holt J. M. *Optimal analysis of incoherent scatter radar data* / J. M. Holt, D. A. Rhoda, D. Tetenbaum, A. P. van Eyken // Radio Science. – 1992. – Vol. 27, No. 3. – p.435–447. 7. Hysell D. L. *Full profile incoherent scatter analysis at Jicamarca* / D. L. Hysell, F. S. Rodrigues, J. L. Chau, J. D. Huba // Ann. Geophys. – 2008. – No 26. – P. 59–75. 8. Sjusjuk M. N. *Modelirovanie dvumernoj funkicii neopredel'nostii radara nekogerentnogo rassejanija* / M. N. Sjusjuk, D. V. Kotov, A. V. Bogomaz // Vestnik NTU “KhPI”. – 2011. – No 44. – p. 81–84. 9. Kotov D. V. *O vlijanii ogibajushhej izluchaemogo radioimpul'sa na ocenki plazmennyh temperatur, opredeljaemyh s pomoshh'ju metoda nekogerentnogo rassejanija* / D. V. Kotov, A. V. Bogomaz, A. I. Ljaljuk, D. A. Iskra // Vestnik NTU «KhPI». Avtomatika i priborostroenie. – Kharkov. – 2014. – No 67 – p. 29–32. 10. Hysell D. L. *Topside measurements at Jicamarca during solar minimum* / D. L. Hysell, J. L. Chau, J. D. Huba. – Ann. Geophys. – 2009. – No 27. – P. 427–439.

Надійшла (received) 22.05.2015

В.А. КРЫЛОВА, канд. техн. наук, старший преподаватель НТУ «ХПИ»

МЕТОДЫ ФОРМИРОВАНИЯ ГРУППОВОГО ШИРОКОПОЛОСНОГО СИГНАЛА ВО ВРЕМЕННОЙ И ЧАСТОТНОЙ ОБЛАСТИ

Предлагаются методы формирования группового широкополосного сигнала, путем дополнительной модуляции по частоте или фазе на времени длительности сигнала. Рассмотрена технология синтеза сигнально-кодовых конструкций с одновременным использованием всеми корреспондентами широкополосного многоканального тракта путем частотно-временного преобразования входных сигналов в широкополосные. Описаны методы построения группового сигнала, позволяющая повысить значение коэффициента использования частотно-временного ресурса группового тракта систем передачи информации. Приведены частотные и временные характеристики полученных сигналов.

Ключевые слова: компьютеризированные системы, канал передачи данных, сигналы с расширенным спектром, канал связи, цифровой фильтр.

Введение. При использовании адаптивных методов защиты информации в цифровых сетях связи важным является вопрос выбора в качестве переносчика закодированной информации сигнально-кодовой конструкции (СКК). Одним из подходов, используемых для повышения помехоустойчивости в условиях сосредоточенных по спектру помех, является использование СКК, обладающих расширенным энергетическим спектром. Однако распределение энергетических составляющих в частотной области существующих широкополосных сигналов не позволяет повысить помехоустойчивость информационных сетей при воздействии сосредоточенных по спектру помех за счет расширения спектра СКК [1].

Все сигнально кодовые конструкции в соответствии с набором свойств делятся на группы, в соответствии с решаемой функциональной задачей. При создании нового поколения СКК одним из требований является унификация по используемым видам модуляции в части ширины спектра радиоизлучения с находящимися в эксплуатации системами. Детальная проработка требований к современным системам радиосвязи позволила сформировать четыре основные группы сигнально-кодовых конструкций.

– СКК, используемые для автоматического установления и ведения соединения. Характеризуются высокой устойчивостью к шумовым, структурным, импульсным и узкополосным помехам, многолучевому распространению, доплеровскому размытию и сдвигу частот в канале. Эта группа основана на шумоподобном сигнале, формируемом как разделимый код с максимальным расстоянием.

– СКК, используемые для среднескоростной передачи данных. Благодаря сверхбольшому каналному алфавиту сигнально-кодовой конструкции, 224 и более различаемых канальных символов, скорость передачи 2400 бит/с обеспечивается при длительности канального символа 20 мс, что позволяет

© В.А. Крылова, 2015

работать в условиях сильной многолучёвости. Разработанные модификации также обеспечивают работу в условиях узкополосных и импульсных помех в полосе сигнала [2].

– СКК высокоскоростной (более 2400 бит/с) передачи данных. В настоящее время проводятся работы по новому поколению этих сигналов, обладающему более низким пикфактором по сравнению с сигналами параллельных (OFDM) модемов. Также перспективные сигналы не будут нуждаться в затратных процедурах коррекции импульсной характеристики канала, занимающих в модемах последовательного типа по стандарту MIL-STD-188-110В до 25 % пропускной способности канала.

– СКК типа CHES (Correlated Hopping Enhanced Spread Spectrum) использующие расширение спектра сигнала коррелированными скачками по частоте. Эта группа сигналов предназначена для передачи небольших объёмов информации. При скорости псевдослучайной перестройки по частоте до 200 скачков в секунду в полосе до десятков мегагерц сигналы, сигналы этого типа обладают высокой скрытностью и устойчивостью как к обнаружению, перехвату, так и к любым видам естественных и искусственных помех [3].

Цель статьи – разработка методов синтеза групповых сигналов в компьютеризированных интегрированных системах, с целью повышения помехоустойчивости сигналов к воздействию сосредоточенных по спектру помех без дополнительных энергетических затрат.

Постановка проблемы. При создании нового поколения СКК одним из требований является унификация по используемым видам модуляции в части ширины спектра радиоизлучения с находящимися в эксплуатации системами. В зависимости от цели использования системы связи можно отметить 3 основных направления построения сигнально-кодowych конструкций [4]:

– сигнально-кодowych конструкции на основе OFDM сигналов для систем связи, обеспечивающих максимальную пропускную способность для заданных полос пропускания и вероятности ошибки в условиях естественных помех;

– сигнально-кодowych конструкции на основе CDM сигналов с прямым расширением спектра (DSSS) для систем связи с максимальной помехоустойчивостью в условиях воздействия любых помех;

– сигнально-кодowych конструкции для систем связи с максимально возможными помехоустойчивостью и пропускной способностью в условиях внутрисистемных и внешних помех, получившие название ортогонально-кодowych разделение каналов (OCDM).

Существенным недостатком при использовании перечисленных типов СКК в общей полосе частот является спектральное проникновение сигналов, что влечет за собой увеличение удельных затрат полосы пропускания. Помехозащищенность трех рассмотренных технологий построения систем широкополосного доступа может быть существенно повышена путем реализации сигнально-кодowych конструкций, на основе сигналов с искусственно созда-

ваемым широкополосным спектром [5].

Материалы исследований. Процедура формирования широкополосного сигнала основано на использовании оператора задержки и свойствах многочлена. Допустим широкополосный сигнал состоит из $n + 1$ импульсов исходной функции $x(t)$ и определяется последовательностью $\{a_m\} = a_0, a_1, a_2, \dots, a_m, a_n$. Если ввести оператор задержки q , который задерживает импульс на время τ , что равняется задержке между соседними импульсами, то кодовую последовательность можно записать в виде многочлена:

$$A(q) = a_0 + a_1q + \dots + a_mq^m + \dots + a_nq^n. \quad (1)$$

Таким образом, решение задачи формирования широкополосного сигнала является его представление в виде суммы весовых откликов $x_0(t - m\tau)$, каждый из которых смещен в отношении начала координат на величину $m\tau$. В таком случае вместо (1) можно записать

$$x'(t) = a_0x_0(t) + a_1x_0(t - \tau) + \dots + a_mx_0(t - m\tau) + \dots + a_n(t - M\tau) \quad (2)$$

или

$$x'(t) = \sum_{m=0}^n a_m x_0(t - m\tau). \quad (3)$$

где $x'(t)$ – широкополосный сигнал, a_m – элемент кодовой последовательности, которая определяет форму представления сигнала.

Основным заданием формирования группового широкополосного сигнала является получение гребенчатой структуры спектра с заданным расположением полос спектральных составляющих. В классе цифровых рекурсивных и нерекурсивных фильтров формирования канальной формы ССГС осуществляется, как и в случае (3), по правилу весового суммирования отсчетов, которые отстают один от другого на интервалы, кратные периоду фильтра. Допустим, период фильтра равняется τ , $A = \{a_0, a_1, \dots, a_n\}$ – последовательность коэффициентов фильтра. Тогда канальный вид преобразованного сигнала на выходе фильтра будет

$$x_k(t) = a_0x(t) + a_1x(t - \tau) + \dots + a_kx(t - k\tau) + \dots + a_nx(t - n\tau). \quad (4)$$

В случае если длительность T_k исходного сигнала $x(t)$ не превышает период фильтра τ , то канальная форма преобразованного сигнала представляет собой n -кратно повторенный с соответствующим масштабированием a_k исходный сигнал, который представлен на рис. 1.

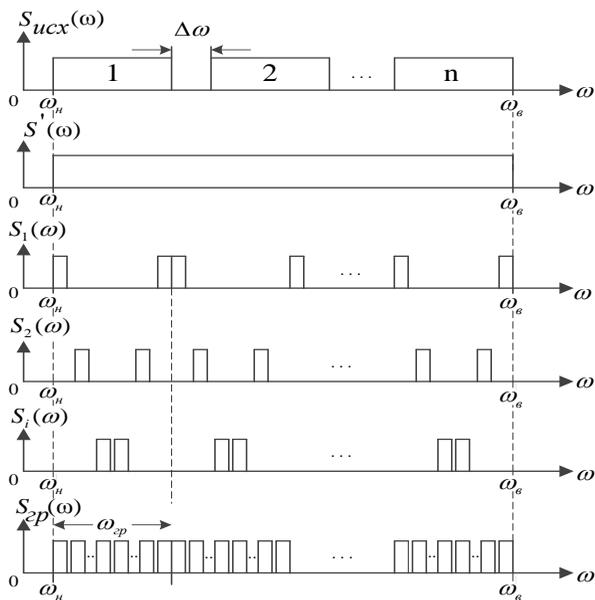


Рис. 1 – Порядок формирования группового сигнала

Выражение (4) в общем виде может быть представлено

$$x_k^i = \sum_{k=0}^p a_k^i x(t - k\tau) . \quad (5)$$

где x_k^i – k -й отсчет i -го широкополосного сигнала; a_k^i – k -й отсчет i -го цифрового фильтра; τ – период цифрового фильтра; p – порядок цифрового фильтра.

Таким образом, выражение (5) по аналогии с (3) определяет алгоритм формирования группового сигнала во временной области. При этом достаточным условием, которое определяет размер системы сигналов, есть равенство $N = p + 1$, которое связывает системную характеристику с реализационным параметром цифрового фильтра.

В частотной области передаточная функция нерекурсивного цифрового фильтра имеет вид:

$$k_i(j\omega) = \sum a_k^i \exp(-j\omega k\tau) . \quad (6)$$

Для определения гребенчатой структуры частотной характеристики фильтра достаточно определить квадрат модуля (3.12) на интервале частот,

соответствующим половине периода $\omega \leq \pi \leq \tau$. Канальная форма i -го индивидуального сигнала представляет собой $(p+1)$ -кратно повторенный масштабированный по a_k^i начальный сигнал. Отсюда следует, что для выделения начального индивидуального сигнала из группового, достаточно обработать последний гребенчатым фильтром, тождественным по структуре и параметрам формирующему. При этом на p – м такте работы фильтра после начала приема группового сигнала, на его выходе появится отсчет

$$x_{\text{вых}}^i(t) = \sum_{k=0}^p a_k^i x_i'(t). \quad (7)$$

Это выражение позволяет считать, что выделяющий фильтр является фильтром, согласованным по форме и длительности с канальным сигналом. Одинаковые превращения сигналов на передающей и приемной сторонах системы позволяют получить достаточно простую схему системы объединения.

Выводы. Таким образом, сигналы с гребенчатым спектром используют весь частотный диапазон группового канала, который дает им возможность проявить позитивные качества широкополосных сигналов, сигналов с большой базой, стойких к влиянию сосредоточенных по спектру помех. Кроме того, по временной оси канальная форма каждого из уплотненных сигналов представляет собой последовательность с $(p + 1)$ -го повтора отрезка начального сигнала, что в условиях влияния перерывов связи дает возможность возобновления сигнала по "неразкоммутируемому" участку.

Список литературы: 1. Живица Н.И. Теоретические основы передачи данных/ Н.И.Живица, А.Г. Пушко., В.А. Лукин – К.: КВВИДКУС, 1991. – 479 с.. **2.** Кларк Дж. Мл, Кейн Дж. Кодирование с исправлением ошибок в системах цифровой связи. Пер. С англ. – М.: Радио и связь, 1987.г. с. 392. **3.** Обнаружение и распознавание сигнально-кодовых конструкций / Е.И. Балунин, А.Ю. Баринов, С.В. Дмитриевский и др. / Под ред. Е.И. Балунина. – М.: Издательство «Радиотехника», 2013. – 96 с. **4.** Семашко Ю.А. Основы организации связи. Учебное пособие / Ю.А. Семашко, А.Н. Бобовик, С.Г. Голубцов – Минск: УО ВОРБ, 2004. – 246 с. **5.** Крылова В.А. Формирование широкополосных сигналов с расширенным спектром в компьютеризированных интегрированных системах – Вісник НТУ «ХПІ» №67, 2014 – 33 с.

Bibliography (transliterated): 1. Zhivica N. I. *Teoreticheskie osnovy peredachi dannyx*/ N.I. Zhivica, A.G. Pushko – K.: KVVIDKUS, 1991. – 479 p.. **2.** Klark D., Kejn D. *Kodirovanie s ispravleniem oshibok v sistemax cifrovoj svyazi*. Per. s angl. – M.: Radio i Svyaz, 1987. 392 p. **3.** *Obnaruzhenie i raspoznavanie signalno-kodovykh konstrukcij* / E.I. Balunin, A.U. Barinov, S.V. Dmitrievskij / Pod Red. E.I. Balunina. – M.: Izdatelstvo «Radiotekhnika», 2013. – 96 p. **4.** Semashko U.A. *Osnovy organizatsii svyazi. Uchebnoe posobie* / U.A. Semashko, A.N. Bobovik, S.G. Golubcov – Minsk: 2004. – 246 p. **5.** Krulova V.A. *Formirovanie shirokopolosnykh signalov s rashchirenym spektrom* // Bulletin of NTU “KhPI”. Series: Automatics and instrument making. – Kharkiv : NTU “KhPI”, 2014. – № 67 (1109) . – P. 33–37.

Поступила (received) 20.05.2015

Т.Г. МАЩЕНКО, к.т.н., проф. НТУ «ХПИ»;
О.С. СОМХИЕВА, к.т.н., доц. НТУ «ХПИ»;
М.В. ДОВГАЛЬ, магистр НТУ «ХПИ»;

АВТОНОМНАЯ СИСТЕМА АНАЛИЗА ДЕЯТЕЛЬНОСТИ ЦЕНТРАЛЬНОЙ НЕРВНОЙ СИСТЕМЫ

В статье представлен прототип системы для анализа деятельности центральной нервной системы (ЦНС). Основным предназначением данной системы является сбор, интерпретация и представление конечному пользователю результатов обработки полученных при электроэнцефалографических исследования данных. С помощью данной системы можно исследовать биопотенциалы головного мозга, проводить диагностику различных заболеваний ЦНС. Также описывается за счет чего достигается минимизация затрат на себестоимость данной системы.

Ключевые слова: электроэнцефалография, диагностическая система, блок обработки информации, анализатор, модуль памяти, блок периферийных выводов.

Постановка проблемы. В настоящее время исследования ученых позволили значительно продвинуться в диагностике различных заболеваний, в том числе и заболеваний центральной нервной системы. Однако, несмотря на стремительно развивающиеся технологии, количество людей, страдающих от заболеваний ЦНС, растет. Особо остро стоит вопрос среди жителей удаленных населенных пунктов, бюджет которых не позволяет закупать дорогостоящее диагностическое оборудование и программное обеспечение, работающее в комплексе с приборами. Поэтому вопрос разработки бюджетной диагностической системы является актуальным.

Цель работы. Разработать портативный диагностический комплекс, имеющий низкую себестоимость, но в тоже время достаточную элементную и программную базу для полноценной обработки и анализа входных массивов данных, снимаемых при электроэнцефалографических исследованиях.

Введение. На сегодняшний день электроэнцефалография является одним из самых широко применяемых и доступных методов для диагностики изменений функционального состояния активности головного мозга.

Электроэнцефалография (ЭЭГ) – кривая, полученная при регистрации колебаний электрического потенциала головного мозга через покровы головы. Она отражает мозаику активности коры головного мозга, которая у здорового человека отличается определенной картиной, соответствующей гармонии протекания основных нервных процессов в мозге. При органической патологии мозга эта гармония процессов нарушается. На рисунке 1 изображен пример ЭЭГ, снятый во время эпилептического приступа.

ЭЭГ имеет возможность показать один из основных параметров работы нервной системы – ритмичность, которая отражает согласованность работы разных структур мозга.

© Т.Г. Машенко, О.С. Сомхиева., М.В Довгаль 2015

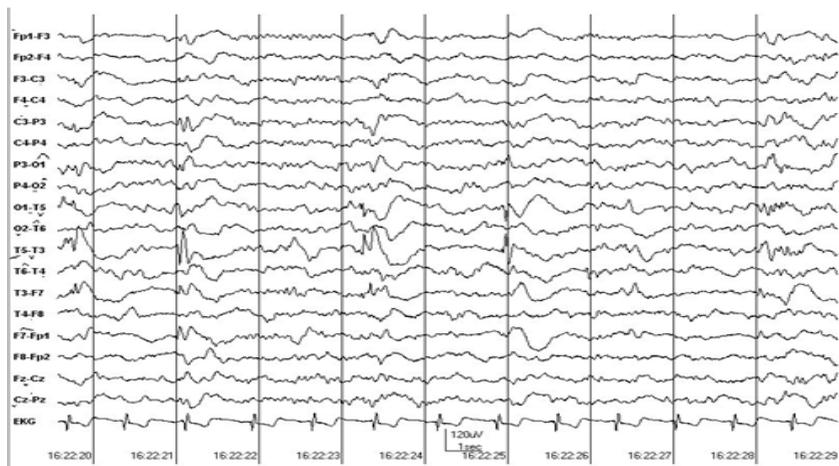


Рис. 1 – Пример ЭЭГ

Это означает, что при записи электроэнцефалограммы, имеется доступ к фактически механизмам обработки информации мозга. В свою очередь, это помогает обнаружить схему процессов, задействованных мозгом, показывая, как информация обработана мозгом. Именно эта возможность делает ЭЭГ уникальным методом диагностики.

Реализация. За основу диагностической системы возьмем анализатор биоэлектрических сигналов головного мозга, описанный в работе [2]. Общая функциональная схема системы представлена на рисунке 2.

Отличительной чертой данной системы от анализатора, предоставленного в работе [1], является наличие блока обработки информации – модуля системы, отвечающего непосредственно за интерпретацию, анализ полученных данных и представление конечному пользователю результата работы программы, а также хранение ранее полученных результатов.

Блок обработки информации – блок, разработанный по типу одноплатного компьютера – самодостаточного компьютера, реализованного на одной печатной плате, работающий под управлением какого-либо дистрибутива операционной системы Linux [2]. Он состоит из:

- центрального процессора;
- модуля оперативной памяти;
- модуля обработки и выдачи видеоизображения;
- модуля памяти;
- периферийных выводов.

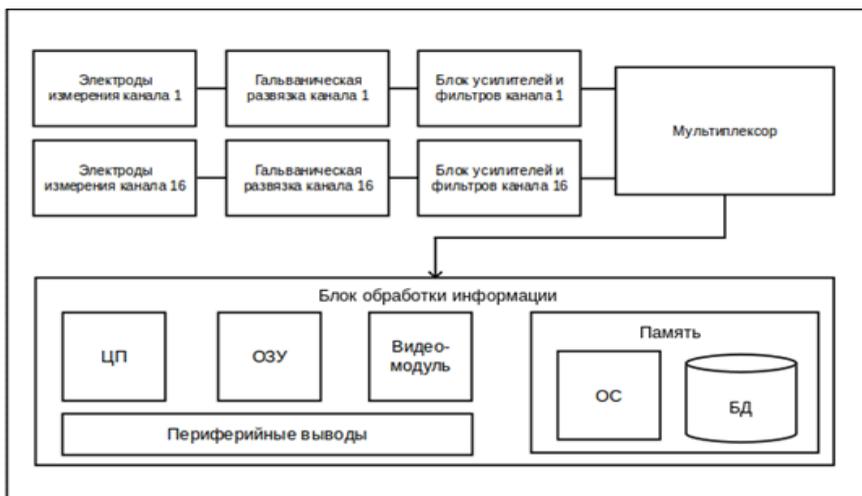


Рис. 2 – Функциональная схема системы

Центральный процессор – главная составляющая блока обработки информации. Для данной системы, учитывая цель сделать ее максимально доступной, подходят современные многоядерные процессоры, основанные на ARM архитектуре, со встроенным графическим чипом, позволяющие воспроизводить видеосигнал на уровне с мощными персональными компьютерами и ноутбуками.

В качестве модуля памяти, отдельно выделенного на функциональной схеме, выступает флеш-память, которая может быть реализована как карта памяти или как микросхема NAND.

Основным назначением модуля памяти является хранение файлов операционной системы, а также хранение базы данных, которая содержит в себе информацию о проведенных ЭЭГ исследованиях.

В блок периферийных выводов опционально выводятся необходимые последовательные/параллельные интерфейсы для подключения внешних модулей, монитора, клавиатуры, манипулятора “мышь”, lcd – дисплей, в случае, если нет возможности подключить полноценный монитор.

В качестве ПО для работы системы реализовано 2 основных программных модуля – пользовательский интерфейс и модуль, реализующий алгоритмы обработки полученных данных.

На рисунке 3 представлен пример пользовательского интерфейса программы WinEEG, которая на данный момент является одним из лидеров данного рынка программного обеспечения:



Рис. 3 – Программа WinEEG

При подаче питания на устройство, после загрузки операционной системы, автоматически запускается программа пользовательского интерфейса, через которую выбирается тип проводимого исследования, пациент, для которого проводится исследование, метод обработки полученной информации (например, спектральный или корреляционный [3]), время проводимого исследования, прочее.

После нажатия кнопки начала исследования, запускается задача, которая взаимодействует со встроенным в процессор АЦП и считывает с него данные. После получения данных, запускается модуль обработки, после чего результат сохраняется в базу данных и выводится в пользовательский интерфейс.

Для разгрузки пользовательского интерфейса, модуль обработки запускается в отдельном программном потоке.

В качестве системы управления базами данных может выступать как легковесные варианты для подобных встраиваемых систем (например, SQLite), так и полноценные СУБД, для управления которыми необходимо устанавливать специальное стороннее программное обеспечение (например, MySQL). Однако, так как данное программное обеспечение зачастую входит в состав готового Linux дистрибутива или доступно к свободному скачиванию из официальных источников, это не нарушает общую идею создания системы с низкой итоговой себестоимостью.

Для еще большего удешевления аппаратной части системы, вместо готового Linux дистрибутива возможно применение пакетов по типу Buildroot – набора файлов, который позволяют просто сгенерировать полноценную Linux систему, имеющую полный набор инструментальных средств и корневую файловую систему.

Минусом этого решения является то, что не все программные библиотеки поддерживаются такими системами, что либо увеличивает итоговое время разработки, либо делает использование некоторых готовых решений невозможным в принципе. Также подобное решение требует большей квалификации программиста, который будет разрабатывать и сопровождать программное обеспечение на всех его жизненных циклах.

Выводы. Рассмотренная система позволяет значительно расширить функционал ранее разработанного анализатора биоэлектрических сигналов головного мозга. Использование дистрибутива Linux в качестве операционной системы позволяет разработать более надежную и производительную автономную систему, а возможность передавать полученные в результате анализа данные на внешний сервер, позволяет упростить создание единого медицинского реестра страны.

Список литературы: 1. *Мащенко Т.Г., Тоноян Т.А.* Снятие и обработка биоэлектрических сигналов головного мозга /Мащенко Т.Г., Тоноян Т.А // Вісник НТУ «ХПІ». – Х. : НТУ «ХПІ», 2014. – № 15 (1058). – С. 105–110 - ISSN 2079-083x. 2. *Лав Р* – Linux, Системное программирование / Лав. Р // Санкт-Петербург: Изд-во «Питер», 2014. – 448 с. 3. *Сахаров В.Л., Андрееenko А.С.* Методики и алгоритмы цифровой обработки сигналов: учебн. пособие / *Сахаров В.Л., Андрееenko А.С.*// Таганрог: Изд-во «Антон», 2000 – 45 с.

Bibliography (transliterated): 1. Mashhenko T.G., Tonojan T.A. *Snjatje i obrabotka bioelektricheskih signalov golovnogogo mozga* /Mashhenko T.G., Tonojan T.A // Visnik NTU «KhPI». – Kharkiv. : NTU «KhPI», 2014. – No 15 (1058). – p. 105–110. 2. Lav R *Linux, Sistemnoe programmirovanie* / Lav. R // Sankt-Peterburg: Izd-vo «Piter», 2014. – 448 p. 3. Saharov V.L., Andreenko A.S. *Metodiki i algoritmy cifrovoj obrabotki signalov: uchebn. posobie* / Saharov V.L., Andreenko A.S.// Taganrog: Izd-vo «Anton», 2000 – 45 p.

Поступила (received) 20.05.2015

Т. Г. МАЩЕНКО, канд. техн. наук, проф. НТУ «ХПИ»;
О. С. СОМХИЕВА, канд. техн. наук, доц. НТУ «ХПИ»;
А. Ю. ЖЕЛЕЗНЯКОВА, магистр НТУ «ХПИ»;

ПРИМЕНЕНИЕ МЕТОДА ДИСПЕРСИОННОГО КАРТИРОВАНИЯ ДЛЯ ДИАГНОСТИКИ ЗАБОЛЕВАНИЙ СЕРДЦА.

В статье рассмотрены вопросы использования метода дисперсионного картирования для оценки состояния сердечно-сосудистой системы человека. Многие заболевания в данной области на начальных этапах протекают практически бессимптомно, однако метод дисперсионного картирования позволяет диагностировать различные заболевания сердца на ранних стадиях их возникновения при догоспитальном контроле, а так же проводить своевременное лечение этих заболеваний, особенно ишемической болезни сердца.

Ключевые слова: электрокардиограмма, ЭКГ - сигнал, дисперсионное картирование, низкоамплитудные колебания.

Постановка проблемы. В последние годы в нашей стране и других странах наблюдается рост сердечно-сосудистых заболеваний, что обусловлено стрессами, значительной нагрузкой, постоянно меняющимися и не в лучшую сторону условиями окружающей среды, а также не малую роль играет и внутреннее психоэмоциональное состояние, гормональный фон, наличие хронических заболеваний и рядом других факторов. Как известно, для диагностики заболеваний сердца применяются электрографические методы исследования. Эти методы являются первыми и обязательными в начале пути обследования пациента при подозрении на заболевание сердечно-сосудистой системы. Несмотря на доступность и разнообразие методик классической электрокардиографии, она обладает рядом недостатков: низкой чувствительностью и специфичностью к некоторым патологическим процессам в миокарде, особенно к ишемическим изменениям в нем, недостаточной чувствительностью для индивидуальных оценок прогноза риска патологии сердца, ведь многие сердечно-сосудистые заболевания на начальных этапах протекают практически бессимптомно. Кроме этого, использование нагрузочных тестов и суточного мониторинга электрокардиограммы (ЭКГ) требует достаточно много времени и финансовых затрат, что, несомненно, ограничивает их широкое применение в условиях амбулаторного обследования больных. Учитывая это, внедрение в практическую кардиологию новых точных электрокардиографических технологий, несомненно, является шагом вперед в идентификации лиц, имеющих различные варианты ишемических и не ишемических изменений в миокарде.

Анализ литературы: В работах [1,2] рассмотрена суть электрокардиографического метода исследования работы сердца, в [3,4] приведены основы

метода дисперсионного картирования, [6] содержит описание новых методов электрокардиографической диагностики, которые уже нашли свое применение в повседневной клинической практике, а также перспективные новые направления анализа ЭКГ-сигнала.

Цель статьи заключается в оценке информативных параметров низкоамплитудных колебаний электрокардиограммы, полученных на основе метода дисперсионного картирования.

Метод дисперсионного картирования ЭКГ - это новая и перспективная технология в современной кардиологии, основанная на контроле низкоамплитудных колебаний ЭКГ – сигнала. Разработка этой технологии связана с ревизией некоторых аспектов биофизических моделей электрического генератора сердца. Следует отметить, что ЭКГ – сигнал содержит достаточно информативные компоненты, на которые ранее почти не обращали внимание, но аналоги которых детально изучались физиками в области так называемой хаотической динамики.

Речь идет о небольших низкоамплитудных изменениях ЭКГ-сигнала в последовательных сердечных сокращениях, проявляющихся в незаметных случайных колебаниях на однотипных участках записи ЭКГ. При различных патологиях сердечно-сосудистой системы амплитуда таких микроальтернаций меняется, что свидетельствует об отклонении от нормы разных электрофизиологических характеристик. Эти незначительные сигналы являются своеобразными микроскопическими «предвестниками» возможных нарушений в работе сердечной мышцы, поскольку предшествуют во времени изменениям непосредственно ЭКГ. Соответственно характеристики низкоамплитудных микроколебаний возможно применять в роли эффективных диагностических маркеров надвигающейся функциональной перестройки миокарда. Для выявления таких случайных колебаний необходимо синхронизировать несколько последовательных циклов (рис. 1).

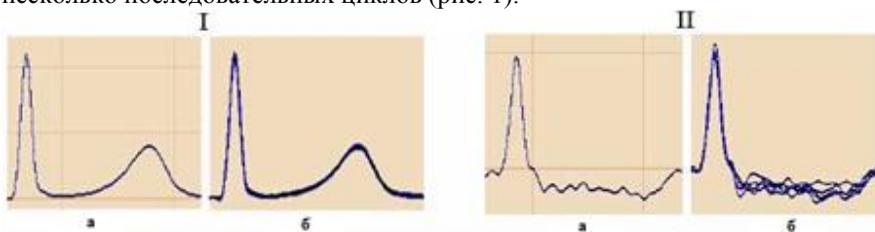


Рис. 1 – Низкоамплитудные колебания ЭКГ в последовательных QRST - комплексах здорового сердца (I) и больного при ИБС (II): а – отдельный комплекс; б – 7 синхронизированных комплексов

Средняя амплитуда этих колебаний столь незначительна, что они традиционно интерпретируются как малозначимые шумовые помехи. Именно малые флуктуации часто несут важную диагностическую информацию, пред-

шествующую развитию патологии и не проявляющуюся в традиционных отклонениях ЭКГ-сигнала. Идея извлечения этой важной “ранней” информации была весьма заманчива, так как она открывала путь не только к более чувствительным диагностическим приборам, но и к устройствам, обеспечивающим достаточно надежный оперативный прогноз состояния сердца. Эта идея стала особенно привлекательной, когда исследования хаотических колебаний в области нелинейной динамики, более известные в современной физике как исследования по проблеме “детерминированного хаоса”, показали, что за внешней случайностью часто скрывается детерминированная закономерность. Некоторые результаты этих исследований послужили отправной точкой при анализе флуктуаций ЭКГ-сигнала.

Анализ случайных малых колебаний ЭКГ невозможен без точной модели биогенератора сердца (БГС). Вследствие этого работа по созданию алгоритмов анализа низкоамплитудных флуктуаций ЭКГ началась с формирования традиционной компьютерной модели БГС, которая была основана на расчете электрического поля двойного заряженного слоя кардиомиоцитов. Модель биогенератора в данной технологии имеет очень большое значение, т.к. 60% используемых диагностических признаков извлекается при анализе низкоамплитудных флуктуаций, так называемых косвенных параметров, рассчитываемых на основе модели электрических процессов в миокарде.

Электродинамическая модель сердца дает точное расчетное предсказание факта уменьшения длительности потенциала действия эпикардиальных клеток миокарда желудочков на 30-40 мс в сравнении с эндокардиальными клетками, хотя генез этого уменьшения до настоящего времени оставался неясным. Таким образом, анализ электродинамической модели позволил сделать следующий вывод: новая модель индуцирования поверхностных потенциалов хорошо согласуется с данными, наблюдаемыми в электрофизиологических экспериментах и в клинической практике, а так же дает объяснение многим проблемным фактам. Эта модель не требует какой-либо дополнительной феноменологии при интерпретации ЭКГ-сигналов. Все ее предсказания основаны лишь на точном учете электродинамических эффектов, возникающих на мембранах огромного числа сократительных кардиомиоцитов. И, что наиболее важно, эта модель предоставляет новые формулы для расчета поверхностных потенциалов, необходимые для определения косвенных, т.е. непосредственно не измеряемых параметров с необходимой точностью.

Экспериментальные данные современной молекулярной биологии и электрофизиологии [3] позволяют с высокой точностью рассчитать объемную плотность энергии и плотность потока энергии отдельного миоцита в фазе ноль потенциала действия. Эти расчеты относительно миоцитов с быстрым электрическим ответом, что составляет основу сократительного миокарда, приводят к следующим оценкам: 57% электростатической энергии мембраны, рассеивается омическими токами, протекающими через среду, слабо

проводит в области входных и выходных ворот ионных каналов вдоль поверхности мембраны.

Электродинамическая модель прежде всего устранила расчетную неустойчивость алгоритмов анализа малых флуктуаций ЭКГ - сигнала, что позволило эффективно использовать ее в качестве модели БГС.

Технологически регистрация и обработка электрокардиографического сигнала осуществляется следующим образом. Входные сигналы ЭКГ покоя длительностью 30 с оцифровываются и выделяют примерно 15 последовательных комплексов QRST. Допустимое число рассматриваемых комплексов QRST в этой технологии составляет 10 ... 20. Далее выделенные комплексы в каждом из рассматриваемых 6 отведений от конечностей (I, II, III, aVR, aVL, aVF) синхронизируют на момент начала и получают сигналы низкоамплитудных колебаний QRST-комплексов в каждый момент времени регистрации (рис. 2).

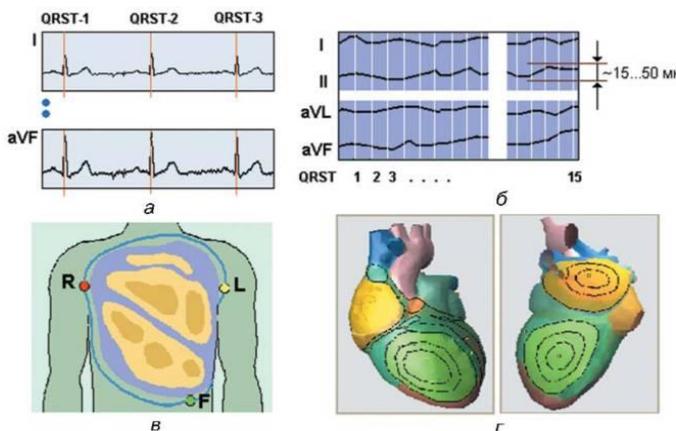


Рис. 2. - Схема формирования информационной топологической модели низкоамплитудных колебаний ЭКГ

а - исходные ЭКГ-сигналы с метками синхронизации; б - массив низкоамплитудных колебаний ЭКГ для одного момента времени; в - поверхностная карта дисперсионных характеристик; г - информационная топологическая модель дисперсионных характеристик - "портрет сердца"

На рис. 2,а для примера представлено выделение одного момента регистрации в различных комплексах QRST, отстает на 11 мс от начала комплекса QRS. На рис. 2,б показаны 4 из 6 кривых низкоамплитудных колебаний для этого момента времени, соответствующие шести отведениям I ... aVF от конечностей. Величины сигналов в отведениях от конечностей I ... aVF рассчитывают стандартным образом по сигналам двух зарегистрированных отводов I, III (электроды L-R, L-F). Полный цифровой массив флуктуаций

включает аналогичные данные по 250 ... 300 моментам времени, которые полностью охватывают весь комплекс QRST.

Этот массив напоминает цифровые данные, рассматриваемые в ЭКГ – методе высокого разрешения при усреднении по времени. Принципиальной особенностью полученного массива низкоамплитудной колебаний является малый объем выборки в каждый момент времени, что составляет примерно 10 ... 20 точек. Эта особенность требует специальных методов анализа, так как традиционные статистические оценки на таких коротких выборках мало- достоверны или невозможны.

Вследствие этого, цифровой массив низкоамплитудной колебаний пропускают через специальный модуль когерентного усиления слабых сигналов - информационный усилитель. Этот модуль усиливает малые отклонения, которые повторяются во всех анализируемых комплексах QRST (т.е. малые отклонения, которые сильно коррелируют), но ослабляет отклонения, слабо коррелируют в анализируемых комплексах. Дополнительно на вход информационного усилителя подаются вторичные характеристики, рассчитанные по выходным (первичным) низкоамплитудными колебаниям на основе электродинамической модели электрического БГС. Основным объектом анализа в информационном усилителе являются дисперсионные характеристики низкоамплитудной колебаний. Термин "дисперсия" соответствует общепринятому в кардиологии определению разницы между наибольшим и наименьшим значениями величины, которая варьирует.

Дисперсионные характеристики дают интегральную оценку изменений большого количества структурных характеристик миокарда, которые зависят от параметров крови, электролитного баланса, артериального давления и других факторов. Финальная процедура расчета дисперсионных характеристик состоит в определении возможной локализации отделов миокарда с изменениями, стали источником дисперсионных изменений, а также в определении интегрального показателя отклонений дисперсионных характеристик от нормы в локализованных отделах. Точность вероятной локализации дисперсионных изменений определяется числом анализируемых отводов. В скрининг-анализаторе обеспечивается выделение только следующих укрупненных видов локализации изменений: задняя или боковая, боковая, передняя перегородочная или боковая, передняя перегородочная или нижняя, нижняя, нижняя со сдвигом вправо.

В итоге на выходе информационного усилителя формируется поверхностная карта дисперсионных характеристик, отражает лишь значимые отклонения этих характеристик от нормы (рис. 2,в). Эта карта по определенному алгоритму проецируется на эпикардального поверхность компьютерной трехмерной анатомической модели сердца. На экране дисплея возникает цифровая модель дисперсионных характеристик на поверхности квазиэпикарда (т.е. компьютерной модели эпикарда), что авторы технологии назвали "портретом сердца" (рис. 2,г).

«Портрет сердца» - это «моментальный снимок», получаемый на экране дисплея в результате визуализации рассчитанных средних дисперсионных характеристик низкоамплитудной колебаний зарегистрированной ЭКГ. Он формируется в двух видах: вид со стороны правого предсердий и правого желудочка и вид со стороны левого предсердий и левого желудочка.

Цвета портрета изменяется как при отклонениях амплитуды дисперсионных характеристик, так и при изменении запаздывания или опережения дисперсионных характеристик во времени, что коррелирует с величинами интервалов P-Q, Q-T, QRS.

Контролируемые таким образом дисперсионные характеристики низкоамплитудной колебаний ЭКГ отражают характеристики повторяемости движения фронтов деполяризации и реполяризации в миокарде при каждом сокращении сердца, в среднем за время примерно 10 ... 20 с.

Приведенная выше последовательность необходимых операций для точного и своевременного диагностирования заболеваний сердца, получила название «метод дисперсионного картирования». Имеющийся сегодня опыт нескольких лет испытаний свидетельствуют о бесспорном факте: среди неинвазивных и доступных для широкой клинической практики метод дисперсионного картирования ЭКГ имеет лучшие показатели. Кроме того, контрольная процедура занимает до 2 минут, а сама процедура контроля не требует специальных подготовительных мероприятий и может быть выполнена без снятия одежды в положении сидя. Полученные данные способствуют осуществлению детализации диагноза и выявлению возможного заболевания до появления его симптомов.

Список литературы: 1. *Мащенко Т.Г.* «Датчики в биотехнических системах» – Х.: НТУ 'ХПИ', 2003г. 2. *Суворов А.В.* Клиническая электрокардиография // Киев-1993г. 3. *Иванов Г.Г., А.С. Сула.* Дисперсионное ЭКГ-картирование: теоретические основы и клиническая практика. - М.: Техносфера, 2009. 4. *Мащенко Т.Г.,* Борисенко М.О. Преимущества использования электродинамической модели миокарда при анализе низкоамплитудных флуктуаций. – Х.: Вестник НТУ «ХПИ» - 2010г. 5. *Мурашко В.В., Струтинский А.В.* Электрокардиография.-М.: Медицина.-1991г. 6. *Грачев С.В., Иванова Г.Г., Сыркина А.Л.* Новые методы электрокардиографии. – Издательство «Техносфера», Москва, 2003г.

Bibliography (transliterated): 1. Mashhenko T.G. «*Datchiki v biotekhnicheskikh sistemah*» – Kh.: NTU "KhPI", 2003. 2. Suvorov A.V. *Klinicheskaja jelektrokardiografija* // Kiev - 1993. 3. Ivanov G.G., A.S. Sula. *Dispersionnoe JeKG-kartirovanie: teoreticheskie osnovy i klinicheskaja praktika.* - M.: Tehnosfera, 2009. 4. Mashhenko T.G., Borisenko M.O. *Preimushhestva ispol'zovaniya jelektrodinamicheskoy modeli miokarda pri analize nizkoamplitudnyh fluktuacij.* – Kh.: Vestnik NTU «KhPI» - 2010. 5. Murashko V.V., Strutynskij A.V. *Jelektrokardiografija.*-M.: Medicina.-1991. 6. Grachev S.V., Ivanova G.G., Syrkina A.L. *Novye metody jelektrokardiografii.* – Izdatel'stvo «Tehnosfera», Moscow, 2003.

Поступила (received) 20.05.2015

Ю.Ф. ПАВЛЕНКО, д-р. техн. наук, проф. НТУ «ХП»
К.В. ГОЛІКОВА, магістр НТУ «ХП»

ПЕРСПЕКТИВИ ПОДАЛЬШОГО ВДОСКОНАЛЕННЯ МІЖНАРОДНОЇ СИСТЕМИ ОДИНИЦЬ SI

В статті наведено перспективи подальшого вдосконалення Міжнародної системи одиниць, проєкт перевизначень ампера, кельвіна, моля, кілограма, секунди, метра, кандели через ФФС, а також шляхи створення природного еталона маси. Розглядаються наслідки перевизначення основних одиниць на подальший розвиток квантової метрології. Найважливішим наслідком нової системи буде позбавлення від останнього артефакту – прототипу кілограма і перехід на його природне визначення.

Ключові слова: одиниця, система SI, перевизначення, еталон, ФФС, кілограм, ампер, кельвін, моль, секунда, метр, кандела.

Одним із наріжних каменів існування і розвитку системи забезпечення єдності вимірювань є наявність загально визнаної системи одиниць та її вдосконалення. Хоча система SI існує багато років і доказала свою життєвість, вона постійно змінюється і уточнюється. За останні 50 років змінилися визначення ряду основних одиниць (секунди, двічі – метра і кандели), періодично уточнюються міжнародна температурна шкала, спростовані додаткові одиниці (радіан та стерердіан) тощо. Основною тенденцією цих змін є наближення визначень одиниць до природних інваріантів і посилення зв'язку з фундаментальними фізичними сталими (ФФС).

На черзі нова суттєва зміна: у 2005 р. Міжнародний комітет з мір та ваг (МКМВ) прийняв рекомендацію щодо підготовчих заходів з перевизначення кілограма, ампера, кельвіна і моля таким чином, щоб ці одиниці були прив'язані до точно відомих значень ФФС. Основними передумовами такого перевизначення є наступні фактори.

При розробці визначення основної одиниці, як вже було сказано, дуже важливо пов'язати її з природним інваріантом. Серед інших властивостей основних одиниць повинна бути можливість їх практичної реалізації “в будь-якому місці, в будь-який час і з тією точністю, яку потребує суспільство”.

Сьогодні стан з системою SI такий, що із семи основних одиниць тільки секунда і метр напряму пов'язані з істинними інваріантами, оскільки секунда визначається через період, що відповідає частоті надтонкого переходу цезію-133, а метр – через швидкість світла у вакуумі. Можна також вважати канделу прив'язаною до природного інваріанту – спектральній силі світлового потоку монохроматичного випромінювання на частоті максимальної чутливості людського ока ($540 \cdot 10^{12}$ Гц), що дорівнює точно 683лм/Вт. Кельвін

© Ю. Ф. Павленко, К. В. Голікова, 2015.

визначається на основі точно заданого термодинамічного стану води (потрійна точка), яке хоч і є природним інваріантом, але має термодинамічну температуру, значною мірою залежну від вмісту домішок та ізотопного складу даного об'єму води. Це ускладнює ситуацію і обмежує точність, з якою це визначення може бути реалізовано [1].

Визначення інших основних одиниць мають ще більш серйозні недоліки. Кілограм досі визначається за допомогою «артефакту» – прототипу, прийнятого 1-ю Генеральною конференцією з мір та ваг (ГКМВ) у 1889 р. Його маса, як відомо, дрейфує по відношенню до істинного інваріанту, однак цей дрейф фактично неможливо оцінити, оскільки всі зразки цієї гири були відлиті з одного сплаву в одній плавці і на одному підприємстві, тобто дрейфують «в одному напрямку». Недоліки визначення ампера, моля і кандели, в основному, полягають в їх залежності від визначення кілограма, хоча мають місце й інші проблеми.

Таким чином, визначення кілограма через істинний природний інваріант – масу атома або ФФС – широко обговорюється метрологами щонайменше 30 останніх років, що відображено у ряді резолюцій ГКМВ, матеріалах МКМВ та його Консультативних комітетів. Не дивлячись на різні думки з цього питання, більшість з них зводиться до необхідності перевизначення кілограма і прийняття в якості еталонної величини або сталої Планка, або числа Авогадро [1].

На сьогодні є практичні успіхи ряду національних метрологічних інститутів (НМІ) в реалізації кілограма різними методами з простежуваністю до фундаментальних сталих. Хоча ці методи ще не дають необхідної точності, існує перспектива її досягнення.

Ще одною передумовою перевизначення одиниць через ФФС стали успіхи НМІ у підвищенні точності визначення ряду ФФС, що є обов'язковою умовою перевизначення одиниць через ці ФФС, а також досягнення в практичній реалізації ряду методів відтворення одиниць, що базуються на квантових ефектах і ФФС (квантові ефекти Джозефсона, Холла, ядерного магнітного резонансу та деякі інші).

Сукупність цих факторів призвела до того, що 23 ГКМВ у 2008 році прийняла Резолюцію «Про можливе перевизначення певних основних одиниць Міжнародної системи SI» [2], а 24 ГКМВ у 2011 р. сформулювала ці нові визначення, а також суть «Нової SI» (New SI) [3]. 26 ГКМВ (2014 р.) підтвердила ці рішення, але точної дати її введення не призначила (орієнтовно 2018 р.). Розглянемо суть Нової SI.

Відзначимо, що у виборі між «явними» визначеннями одиниць і визначеннями через сталі CGPM віддала перевагу визначенням через сталі.

Цитуємо витяг з проекту Нової SI [3] :

Міжнародна система одиниць (SI) буде системою одиниць, в якій:

частота надтонкого розщеплювання атома цезію-133 в основному стані ν_{Cs} складає точно 9 192 631 770 Герц,

– швидкість світла у вакуумі c складає точно $299\,792\,458$ м в секунду,
– стала Планка h складає точно $6,626\,06X \times 10^{-34}$ Дж с,
– елементарний заряд e складає $1,602\,17X \times 10^{-19}$ Кл,
– стала Больцмана k складає точно $1,380\,6X \times 10^{-23}$ Дж К⁻¹,
– стала Авогадро N_A складає точно $6,022\,14X \times 10^{23}$ моль⁻¹.
– світлова ефективність K_{cd} монохроматичного випромінювання з частотою 540×10^{12} Гц складає точно 683 лм Вт⁻¹,

де символ X є однією або декількома додатковими цифрами, які потрібно додати до числових значень h , e , k і N_A , у відповідності до останнього коректування CODATA (комітет із стандартних даних для науки і техніки).

Звідси витікає, що SI буде й надалі мати поточний набір семи базових одиниць, зокрема:

1) Кілограм залишиться одиницею маси, але його розмір встановлюватиметься за допомогою фіксації числового значення сталої Планка, щоб виходило точне значення $6,626\,06X \times 10^{-34}$ при вираженні в одиниці SI м² кг с⁻¹, що дорівнює Дж с,

2) Ампер залишиться одиницею електричного струму, але його розмір встановлюватиметься за допомогою фіксації числового значення елементарного заряду, щоб виходило точне значення $1,6\,02\,17X \times 10^{-19}$ при вираженні в одиниці SI с А, що дорівнює Кл,

3) Кельвін залишиться одиницею термодинамічної температури, але його розмір встановлюватиметься за допомогою фіксації числового значення сталої Больцмана, щоб виходило точне значення $1,380\,6X \times 10^{-23}$ при вираженні в одиниці SI м² кг с⁻² К⁻¹, що дорівнює Дж К⁻¹,

4) Моль залишиться одиницею кількості речовини, яка містить певну кількість елементарних частинок, наприклад, атомів, молекул, іонів, електронів, а також інших частинок або певних груп частинок, але його розмір встановлюватиметься за допомогою фіксації числового значення сталої Авогадро, щоб виходило точне значення $6,022\,14X \times 10^{23}$ при вираженні в одиниці SI моль⁻¹.

Міжнародний комітет з мір і ваг також пропонує переформулювати існуючі визначення секунди, метра й кандели в повністю еквівалентних формах:

1) Секунда є одиницею часу, її розмір встановлюється за допомогою фіксації числового значення частоти надтонкого розщеплювання атома цезію-133 в основному стані та за температури 0 К, щоб виходило точне значення $9192\,631\,770$ Гц,

2) Метр є одиницею довжини; її розмір встановлюється за допомогою фіксації числового значення швидкості світла у вакуумі, щоб виходило точне значення $299\,792\,458$ м с⁻¹,

3) Кандела є одиницею сили світла в певному напрямі; її розмір встановлюється за допомогою фіксації числового значення світлової ефективності

монохромного випромінювання з частотою 540×10^{12} Гц, щоб виходило точне значення 683 лм Вт^{-1} .

3. Аналіз запропонованих визначень основних одиниць. Не важко бачити, що в запропонованих визначеннях секунди, метра і кандели суттєвих змін не відбулось, вони залишились прив'язаними до тих же сталих, змінились лише формулювання.

Визначення ампера суттєво змінилось – зафіксована його простежуваність до елементарного заряду. Тим самим нове формулювання ампера вказує на методи його відтворення: опосередковано на основі квантових ефектів Джозефсона і Холла або ефекту одноелектронного тунелювання.

Суттєво змінюється також формулювання кельвіна – замість прив'язки його до потрійної точки води пропонується зв'язати його зі сталою Больцмана. Головним наслідком цього перевизначення може стати поступовий перехід еталонних вимірювань за шкалою МТШ-90 до вимірювань за допомогою «первинних термометрів».

Визначення моля через N_A як числа часток в молі, зв'язує моль з її точним значенням $N_A = 6,0221415 \cdot 10^{23} \text{ моль}^{-1}$, а також зберігає основне співвідношення між молярною масою речовини і масою структурних елементів.

Найбільш суттєвим є запропоноване перевизначення кілограма, яке розглянемо докладніше.

4. Про можливість створення природного еталона маси.

Вище було сказано, що кілограм – єдина одиниця SI, що відтворюється за допомогою прототипу з усіма недоліками цього способу. Тому вже багато років в національних метрологічних інститутах розвинених країн і в МБМВ ведуться роботи, метою котрих є прив'язка одиниці маси SI до стабільних фізичних ефектів, а через них – до фундаментальних фізичних сталих, тобто створення природного еталона кілограма.

Основними методами, які досліджувались, були:

1) метод порівняння електричної і механічної потужності за допомогою так званих «ватт-вагів» з подальшим відтворенням одиниці маси через електричні величини [4];

2) метод встановлення зв'язку між кілограмом і атомною масою якоїсь речовини (як правило, кремнію) за допомогою числа Авогадро [4];

3) метод «лівітуючої маси»;

4) метод накопичення іонів золота.

З названих методів найбільш перспективними виявились перші два, які розглянемо більш докладно.

Метод ватт-вагів. Процедура відтворення кілограма реалізується за допомогою комбінації чотирьох експериментів: відтворення вольта і ома на основі квантових ефектів Джозефсона і Холла відповідно, вимірювання прискорення вільного падіння і порівняння електричної потужності з механічною за допомогою ватт-вагів.

Маса в результаті цих експериментів може бути подана як функція двох джозефсонівських частот, сталої Планка і прискорення вільного падіння. Таким чином, цей метод ґрунтується на простежуваності до сталої Планка, а відтворений за його допомогою кілограм одержав назву «електричного».

Досягнута на сьогодні невизначеність відтворення кілограма цим методом оцінюється значенням $(7-8) \cdot 10^{-8}$, що свідчить про його перспективність.

Метод простежуваності до сталої Авогадро У спрощеному вигляді цей метод можна подати таким чином.

Число Авогадро N_A – кількість атомів, яка міститься на 0,012 кг ізотопу вуглецю ^{12}C . Якщо 0,012 кг містить N_A атомів, то в 1 кг повинно міститись X атомів, яке дорівнює

$$X = \frac{N_A}{0,012} = \frac{1000 \cdot 6,0221415 \cdot 10^{23}}{12} = 5,01845166 \cdot 10^{25}.$$

Цей метод одержав назву «атомного кілограма».

Підкреслимо: при визначенні кілограма через значення маси якоїсь елементарної частинки, наприклад, атома вуглецю ^{12}C , електрона, протона, тощо, необхідно визначити число Авогадро з невизначеністю близько 10^{-8} . Для вирішення цієї задачі необхідно виготовити кристали кремнію надвисокої чистоти і близької до ідеальної структури. Кількість атомів підраховується за допомогою рентгеноструктурного аналізу (XRCD-метод). Для цього в рамках Європейського союзу було проведено проєкт SIMUS, в якому проводилось вирощування кристалів кремнію, його обробка у вигляді кулі, точне вимірювання його діаметру та інші прецизійні операції.

Молекулярну масу кремнію визначали за допомогою мас-спектрометра, міжатомну відстань – шляхом комбінованого використання рентгенівської і оптичної інтерферометрії. За допомогою цих експериментів стала Авогадро була встановлена з невизначеністю близько $5 \cdot 10^{-8}$. В найближчі роки очікується її зниження до $(1-2) \cdot 10^{-8}$, що робить цей шлях перевизначення кілограма достатньо конкурентоспроможним.

В той же час автори перевизначень однозначно схилиються до методу «електричного кілограма», який ґрунтується на фіксації сталої Планка. Аргументується це, головним чином, тим, що якщо фіксується e (для перевизначення ампера), то фіксація також h призведе до точних значень сталої Джоузефсона $2e/h$ та сталої Клітцинга h/e^2 , що надзвичайно важливо для метрології в електриці.

На цей час рівень досягнутої точності і готовність апаратури до практичної реалізації кілограма недостатньо високі для того, щоб можна було ввести його в дію. Тому, як показано вище, остаточне введення нових визначень перенесено на більш віддалений термін

5. Наслідки впровадження нової SI. Найважливішим наслідком нової системи буде, безумовно, позбавлення від останнього артефакту – прототипу кілограма і перехід на його природне визначення. Це позитивно вплине також на інші одиниці, пов'язані з кілограмом.

Очевидно позитивним є наслідки перевизначення для метрології в електриці, де фактично вже склалась «практична» система еталонів, що ґрунтується на квантових ефектах.

Таким чином, виник дуалізм у визначеннях електричних одиниць, який полягає в існуванні одиниць SI і практичних, які простежуються до ФФС. Очевидно, що перевизначення усуває цей дуалізм

6. Висновок. Як видно, з наведених вище матеріалів, прийняття нових визначень ряду основних одиниць стане революційним кроком у плані подальшого вдосконалення міжнародної системи одиниць. Відзначимо, що ці пропозиції знаходять, в основному, підтримку у світі, дискусію викликає лише окремі деталі і терміни введення нових визначень. Найбільш важливими наслідками перевизначення стануть:

- усунення останнього артефакту і створення природного еталона кілограма;

- подолання дуалізму у визначеннях електричних одиниць

- уточнення значень ряду ФФС, що суттєво для фізики і науки в цілому;

- створення умов для переходу до природної системи одиниць

Список літератури: 1. Миллс Я. М. Переопределение килограмма, ампера, кельвина и моля : предлагаемый подход к применению Рекомендации 1 МКМВ (С1-2005) / Я. М. Миллс, П. Дж. Мор, Т. Дж. Квинн и др. // Метрология. – 2007. – № 2. – С. 5–57. 2. XXIV CGPM, Paris, 2011. 24 CGPM Resolution 1. Резолюція 1 24 Генеральної конференції з мір та ваг. – Париж, 2011. 3. Кононогов С. А. Метрология и фундаментальные физические константы / С. А. Кононогов. – М.: Стандартинформ, 2008. – 269 с. 4. *Determination of the Avogadro constant by counting the atoms in a ²⁸Si crystal* / B. Andreas, Y. Azuma, G. Bartl e. a. // Phys. Rev. Lett. – 2011. – V. 106, № 2. – P. – 030801.

Bibliography (transliterated): 1. Mills Ya. M. *Redefinition of kilogram, ampere, kelvin and asking: the offered approach to application of the Recommendation 1 MKMB (C1-2005)* / Ya. M. Mills, P. J. Mor, T. J. Quinn, etc. // Metrology. – 2007. – No 2. – P. 5-57. 2. XXIV CGPM, Paris, 2011. 24 CGPM Resolution 1. 24 General conference of measures and scales. – Paris, 2011. 3. Kononogov S. A. *Metrologiya and fundamental physical constants* / S. A. Kononogov. – M.: Standartinform, 2008. – 269 p. 4. B. Andreas *Determination of the Avogadro constant by counting the atoms in a ²⁸Si crystal* / B. Andreas, Y. Azuma, G. Bartl e. a. // Phys. Rev. Lett. – 2011. – V. 106, No 2. – P. – 030801.

Надійшла (received) 17.04.2015

В.С. СУЗДАЛЬ, д-р техн. наук, ст. науч. сотр., Институт
сцинтилляционных материалов НАН Украины, Харьков

СПИРАЛЬНАЯ S - МАТРИЦА И РОСТ КРИСТАЛЛОВ

Рассматривается механизм роста кристалла винтовой спиралью, исходя из предпосылки о наличии в кристаллическом зародыше неисчезающей дислокационной ступеньки. Предложена матричная модель однозаходной дислокационной спирали типа Архимедовой на грани роста кристалла, в виде спиральной S-матрицы. Введено понятие спирали q - рода и показана практическая значимость S-матрицы, для выращивания кристаллов больших размеров по спирали с большим q .

Ключевые слова: кристалл, рост, механизм, спираль, модель, S-матрица.

Введение. Под механизмами роста кристаллов понимают способы присоединения частиц к кристаллу. Различают два основных механизма: 1) механизм нормального роста; 2) механизм послойного роста.

Нормальный рост грани происходит на не сингулярных поверхностях, при этом частицы присоединяются к поверхности практически повсеместно. Данный механизм обычно проявляется на стадии регенерации граней или в случае равновесного состояния шероховатой поверхности грани растущего кристалла.

Послойный рост представляет собой образование гладких граней путем последовательного отложения слоев вещества, при этом ростовые ступени распространяются от центров роста.

Особую роль в процессе роста кристалла играют несовершенства его структуры, называемые дислокациями (смещениями). Кристаллов без дислокаций не существует. В соответствии с теорией дислокаций в процессе роста кристалла, особенно при массовой кристаллизации, его решетка искажается. Температурные градиенты у поверхности кристалла, возникающие вследствие не изотермичности кристаллизации, адсорбции примесей и других причин, приводят к появлению дислокаций, дефектов поверхности грани, которая оказывается не идеально плоской, а имеющей неровный рельеф (рис.1). При кристаллизации из растворов, из газов, при образовании твердой фазы в результате химической реакции, рельеф поверхности кристалла может иметь точечные нарушения. Однако, он часто приобретает форму плоских или винтовых, спиральных уступов (ступенек), имеющих молекулярные или намного, большие размеры

Механизм послойного роста путем последовательного отложения слоев от центров роста, в качестве которых могут выступать выходы на поверхность грани дислокаций или двумерные зародыши, представлен в [1].

© В.С. Суздаль, 2015

Английский кристаллограф Франк в 1948 году высказал догадку, что при послойном росте, кристалл растет не параллельными рядами, а винтовой спиралью [2].

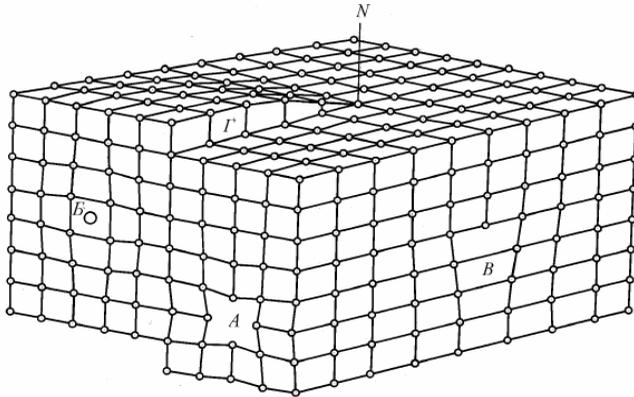


Рис.1 – Структурные дефекты в кристаллах: точечные дефекты – вакансии (А), внедрение атома в межузлие (Б), линейные дефекты – краевая дислокация (В), винтовая дислокация (Г)

Эта теория исходит из предпосылки о наличии в кристаллическом зародыше не исчезающей *дислокационной ступеньки*, которая перемещается за счет присоединения атомов параллельно самой себе.

Нарастание грани на дислокационной ступеньке происходит по спирали путем навивания одного слоя на другой. Дислокации, следовательно, являются непрерывно действующим источником возникновения слоев и снимают необходимость появления на поверхности растущей грани двухмерных зародышей. Постоянное наличие открытой ступеньки винтовой дислокации создает благоприятные условия для роста кристалла. Ведь, не нужно начинать строить ни новый ряд, ни новую плоскость. Атомы, пристраивающиеся к ступенькам, наращивают ее, и за счет этого она начинает перемещаться по поверхности грани. Но это движение не будет перемещением ступеньки параллельно самой себе, так как ее конец неподвижен. Так как атомы укладываются с постоянной скоростью вдоль всей длины ступеньки, то она по мере роста начнет изгибаться и примет форму спирали. Постоянное наращивание ступеньки новыми слоями атомов приведет к тому, что на грани кристалла образуется спиральная башенка. На схеме (рис. 2) показана последовательность этапов спирального роста *a*, *b*, *v* и *z* кристалла. Центральная часть ее как бы ввинчивается в пространство, опережая в своем движении нижние ступеньки лестницы, которые со временем будут застроены полностью и исчезнут, превратившись в завершенный атомный слой. На рис. 2а на грани кристалла изображен вектор винтовой дислокации длиной *b*. Если, имеется

много, близко расположенных дислокаций, то ступеньки роста кристалла имеют высоту из многих атомных слоев и их можно видеть даже в обычный микроскоп. Винтовые дислокации ведут к образованию на поверхности кристалла спиралей роста, высотой от одного до нескольких тысяч атомов. Фотографии, полученные с помощью электронного микроскопа, подтвердили реальность спирального механизма роста кристаллов (рис. 3).

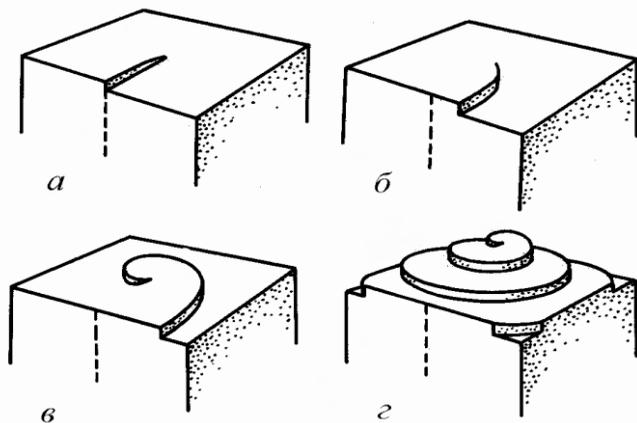


Рис. 2 – Схема спирального роста кристалла: *а* – появление винтовой дислокации; *б* – начало изгиба; *в* – закручивание в спираль; *г* – образование спиральной башенки.

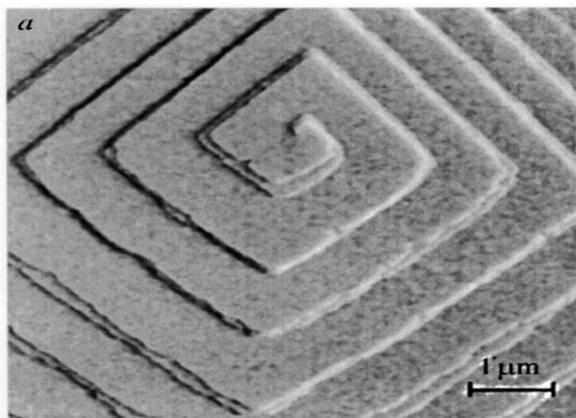


Рис.3 – Дислокационная спираль на грани кристалла бифталата калия [4]

Спирали, порожденные дислокациями, наблюдаются на кристаллах с различными типами связей, строением решетки и симметрией. Спиральный

рост экспериментально обнаружен при изучении роста многих кристаллов, например, алмаза, Mg, Cd, Ag и др. [3, 4, 5].

Спиральный рост на сегодняшний день, является одним из наиболее распространенных и наблюдаемых механизмов роста, и уже нет сомнений в том, что именно так растут кристаллы из паров и слабо пересыщенных растворов.

Матричная модель кристаллизации. Матричную модель изотропной однозаходной дислокационной спирали на грани роста кристалла представим в виде спиральной S-матрицы.

Определение. Спиральная S-матрица, это двухуровневая не особая матрица четного порядка n , состоящая из чисел $\{\pm a\}$ (рис. 4).

Например, S-матрица восьмого порядка

$$S_8 = \begin{bmatrix} -a & a & a & a & a & -a & -a & -a \\ a & -a & -a & -a & -a & a & -a & -a \\ -a & -a & -a & -a & -a & -a & a & -a \\ -a & -a & -a & -a & -a & -a & -a & a \\ -a & -a & -a & a & -a & -a & -a & a \\ -a & -a & a & -a & -a & -a & a & -a \\ -a & -a & -a & a & -a & a & -a & -a \\ -a & -a & -a & -a & a & -a & -a & -a \end{bmatrix}$$

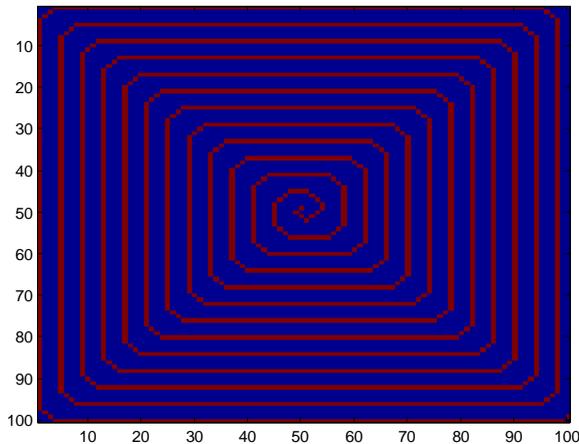


Рис. 4 – Спиральная S-матрица

Пусть r_c размер двумерного зародыша и длина вектора b , определяется некоторым количеством зародышей. Выберем на S -матрице систему координат XU так, чтобы вектор b (начальная ступенька роста) совпадал по направлению, например, с осью Y , т.е. предполагаем, что в процессе роста кристалла дислокационная спираль закручивается от оси Y (рис. 5). Начало координат XU – точка выхода винтовой дислокации. Длина начальной ступеньки b спирального роста, ориентированной по оси Y , будет кратна простым числам q , т.е. $b = qr_c$. Если, $q = 1$, то назовем ее спиралью первого рода. Если, начальная винтовая дислокация, в выбранной системе координат, имеет $q=2$, то это спираль второго рода. Если $q=3$, то это спираль третьего рода и т.д.

Свойства S-матрицы.

S -матрица не ортогональна по столбцам. Она обладает свойствами Архимедовой спирали, а, именно, расстояние между витками спирали (шаг спирали $\lambda = 4b = q4r_c$), величина постоянная.

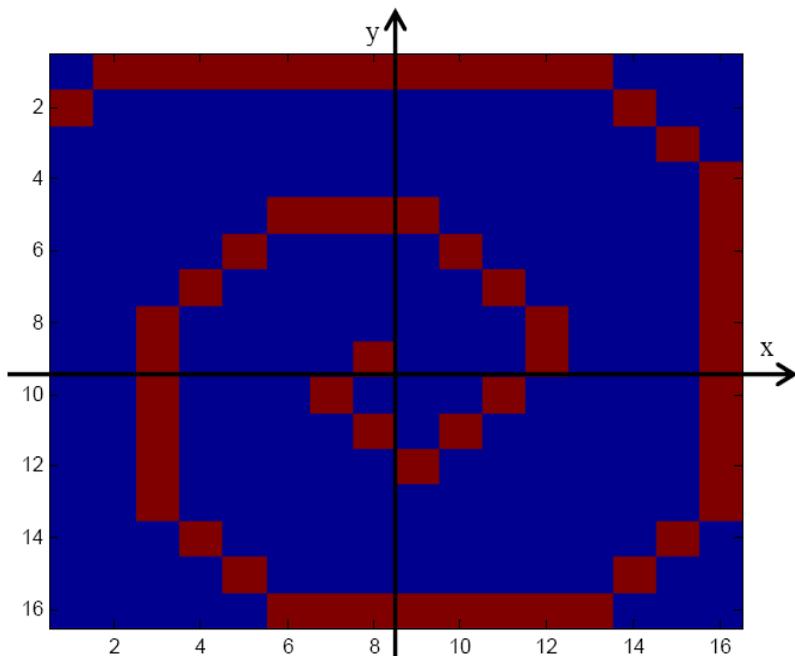


Рис. 5 – S -матрица со спиралью первого рода

Пусть $a = 0,125$, тогда число оборотов спирали для матрицы S_n определяется квадратичной фробениусовой нормой m этой матрицы. Для спирали

первого рода радиус спирали на первом круге равен $r_1^1 = r_c + 4r_c = 5r_c$, на втором круге – $r_2^1 = 9r_c$, на третьем – $r_3^1 = 13r_c$. В общем случае, на m круге $r_m^q = q(4m+1)r_c$. После 1000 оборотов радиус спирали первого рода $r_{1000}^1 = 4001r_c$ при шаге спирали $4r_c$, радиус спирали пятого рода $r_{1000}^5 = 20005r_c$ при шаге спирали $20r_c$, т.е. шаг спирали в обоих случаях составит, менее 0.1 процента от радиуса. В результате, кристалл, практически, прекращает свой рост по осям X, Y и, продолжает расти по высоте (рис. 2 з). Следовательно, выращивание кристаллов больших размеров возможен по спирали с $q \gg 1$ ($q=4,6$) или за счет появления на грани роста нескольких спиралей, возможно – с разными q (рис. 6). Математическое описание системы таких взаимодействующих спиралей достаточно сложно и зависит от взаимного расположения, энергии, вектора Бюргерса винтовых дислокаций [6].



Рис. 6 – Спирали роста на гранях кристалла

Выводы. С целью изучения механизмов роста кристалла предложена матричная модель дислокационной спирали на гранях роста в виде спиральной S-матрицы. Перспективы дальнейшей работы над матричными моделями связаны с расширением семейства S-матриц. Практическая значимость S-матрицы определяется тем, что поверхностные явления на макро- и микро-

уровнях роста кристалла представляют сегодня значительный интерес с точки зрения развития нанотехнологий и других отраслей науки.

Список литературы: 1. *Портнов В. Н.* Возникновение и рост кристаллов / *В. Н. Портнов, Е. В. Чупрунов* // М. : Физматлит. – 2006. – 328 с. 2. *Frank F. C.* The influence of dislocation on crystal growth / *F. C. Frank* // *Disc. Faraday Soc.* – 1949. – No 5. – P. 48-54. 3. *Чернов А. А.* Слоисто-спиральный рост кристаллов / *А. А. Чернов* // *Успехи физических наук.* – 1961. – Т. 73, вып. 2. – С. 1277-1331. 4. *Рашкович Л. Н.* Формирование дислокационной спирали на грани (010) кристалла бифталата калия / *Л. Н. Рашкович, Е. В. Петрова, О. А. Шустин, Т. Г. Черневич* // *Физика твердого тела.* – 2003. – Т. 45, вып.2. – С. 377-383. 5. *Гуськов С. С.* Механизм роста грани кристалла с зонарной микроструктурой / *С. С. Гуськов, М. А. Фаддеев, Е. В. Чупрунов* // *Вестник Нижегородского ун-та им. Н. И. Лобачевского. Серия : Физика твердого тела.* – 2008. – № 6. – С. 39-45. 6. *Burton W. K.* The Growth of Crystals and the Equilibrium Structure of their Surfaces / *W. K. Burton, N. Cabrera, F. C. Frank* // *Phil. Trans. Roy. Soc. London. Ser. : A.* – 1951. – Vol. 243. – P. 299-360.

Bibliography: 1. *Portnov V. N.* Voznikoveniye i rost kristallov // *V. N. Portnov, E. V. Chuprunov.* М. : Fizmatlit, – 2006. – 328 p. 2. *Frank F. C.* The influence of dislocation on crystal growth / *F. C. Frank* // *Disc. Faraday Soc.* – 1949. – No 5. – P. 48-54. 3. *Chernov A. A.* Sloisto-spiralnyi rost kristallov / *A. A. Chernov* // *Uspekhi fizicheskikh nauk.* – Vol. 73. – P. 1277-1331. 4. *Rashkovich L. N.* Formirovaniye dislokatsionnoy spirali na grani (010) kristalla biftalata kaliya / *L. N. Rashkovich, E. V. Petrova, O. A. Shustin, T. G. Chervovich* // *Fizika tverdogo tela.* – 2003. – Vol. 45, Is. 2. – P. 377-383. 5. *Guskov S. S.* Mekhanizm rosta grani kristalla s zonarnoy mikrostrukturoy / *S. S. Guskov, M. A., Faddejev, E. V. Chuprunov* // *Vestnik Nizhegorodskogo Un-ta. Ser. : Uspekhi fizicheskikh nauk.* – 2008. – No 6. – P. 39-45. 6. *Burton W. K.* The Growth of Crystals and the Equilibrium Structure of their Surfaces / *W. K. Burton, N. Cabrera, F. C. Frank* // *Phil. Trans. Roy. Soc. London. Ser. : A.* – 1951. – Vol. 243. – P. 299-360.

Поступила (received) 30.01.2015

А.В. ШОСТАК, канд. техн. наук, доц. НАУ «ХАИ»;
Ю.И. ДОРОШЕНКО, канд. техн. наук, доц. НТУ «ХПИ»

О ВЫБОРЕ КООРДИНАТ РАЗМЕЩЕНИЯ ТОЧЕК ДОСТУПА В WI-FI СЕТИ

Проанализированы два различных подхода к оптимизации взаимного расположения двух точек доступа в Wi-Fi сети с целью максимизации суммарной скорости передачи данных двумя группами абонентов посредством выбора координат двух точек доступа. Рассмотрено влияние способов расположения точек доступа, размеров области расположения абонентов и количества абонентов на суммарную скорость приема/передачи абонентов сети, при этом решалась задача разбиения n абонентов на две равные (с точностью до 1) части.

Ключевые слова: Wi-Fi сеть, точка доступа, оптимизация расположения.

Введение. Взаимное расположение работающих в разных частотных диапазонах точек доступа и абонентов в Wi-Fi сетях оказывает основное влияние на скорость приема/передачи данных абонентами. Поэтому задача размещения нескольких точек доступа в Wi-Fi сети является актуальной. В статье рассматриваются основные задачи, возникающие при размещении двух точек доступа, и приводятся результаты моделирования, позволяющие определить верхние границы скоростей приема/передачи для абонентов сети Wi-Fi.

Основная часть. Пусть точка доступа (ТД) в соответствии с протоколом 802.11a обеспечивает скорость до 54 Мбит/сек [1, 2], а абоненты сети осуществляют доступ к разделяемой среде с помощью метода CSMA/CA [2]. Кроме этого предположим, что скорость абонента обратно пропорциональна квадрату расстояния от абонента до ТД [1] и отсутствуют препятствия к распространению сигналов от ТД к абонентам. Пусть также расстояние между плоскостями расположения точек доступа и абонентов составляет h .

В общем случае задача выбора координат размещения двух точек доступа состоит в максимизации суммарной скорости передачи данных двумя группами абонентов посредством выбора координат двух точек доступа.

Алгоритм выбора координат размещения двух точек доступа реализуется посредством следующих шагов.

Первый шаг состоит в решении задачи разбиения n абонентов на две равные (с точностью до 1) части. При решении этой задачи было рассмотрено два способа ее реализации.

В первом способе прямоугольник, образованный минимальными и максимальными координатами абонентов, разбивается на две части по равному числу абонентов в каждой части (если высота прямоугольника больше ширины, то разбивка прямоугольника производится по координате X и по координате Y – в противном случае).

© А.В. Шостак, Ю.И. Дорошенко, 2015

Во втором способе решения задачи разбиения n абонентов на две примерно равные части на образованных абонентами n узлах неориентированного графа строится гамильтонов цикл минимальной длины. На основании этого цикла строится гамильтонова цепь посредством удаления из гамильтонова цикла ребра максимальной длины (гамильтонова цепь некоторым образом упорядочивает абонентов для их последующего разделения на части). Далее эта гамильтонова цепь делится на две связанные части. Число узлов в каждой части должно быть с точностью до 1 одинаково. При нечетном общем числе узлов также необходимо минимизировать суммарные длины частей гамильтоновой цепи.

В результате выполнения первого шага пронумерованное множество абонентов разбивается на два подмножества $n1$ и $n2$ примерно равных мощностей. Например, подмножество $n1$ будет обслуживаться первой точкой доступа и содержит номера абонентов, отнесенных к первой части

На втором шаге требуется определить координаты двух точек доступа, каждая из которых доставляет минимум сумме расстояний между соответствующей точкой доступа и абонентами ее группы при условии совмещения координат ТД с координатами одного из абонентов группы.

Математическая постановка данной задачи, например, для первой группы абонентов имеет следующий вид [3]:

$$(x_0^1, y_0^1) = \underset{(x_i^1, y_i^1) \in D^1}{\operatorname{argmin}} \sum_{i=1}^{\|n1\|} \sqrt{(x_i^1 - x_0^1)^2 + (y_i^1 - y_0^1)^2}, \quad (1)$$

где (x_0^1, y_0^1) – искомые координаты первой точки доступа;

(x_i^1, y_i^1) – координаты расположения i -го абонента первой группы абонентов;

D^1 – множество точек плоскости, задаваемых координатами расположения абонентов первой группы;

$\|n1\|$ – количество абонентов в первой группе.

В этом случае абонент, координаты которого совмещены с ТД, обладает максимальной скоростью и также максимизируется суммарная скорость абонентов группы. Задача выбора координат точки доступа в группе решалась с помощью метода полного перебора из всевозможных альтернатив и выбора решения, доставляющего минимум сумме расстояний между точкой доступа и абонентами ее группы. Например, число альтернатив для первой группы абонентов равно $\|n1\|$, где $\|n1\|$ – мощность множества $n1$.

Координаты выбранных таким образом центров двух звездообразных графов и являются координатами двух точек доступа.

В результате выполнения второго шага определяются координаты размещения двух точек доступа, рассчитываются скорости каждого абонента, суммарные скорости абонентов первой и второй частей и суммарная скорость всех абонентов.

Вычислительный эксперимент по исследованию алгоритмов поиска координат двух ТД позволил получить результаты, некоторые из которых приведены на рис. 1 и рис. 2.

На рис. 1 приведены результаты выбора координат двух точек доступа при разбиении абонентов на группы первым способом (на рис. 1 координаты абонентов приведены в метрах, их скорости – в Мбит/сек, скорость ТД – 54 Мбит/сек, $h=3$ м, точки доступа имеют пометки “N1” и “N2”).

На рис. 2 приведены результаты выбора координат двух точек доступа для тех же условий, что и на рис. 1, при разбиении абонентов на группы вторым способом (с использованием гамильтоновой цепи минимальной длины).

Из рис. 1 и 2 видно, что для данного расположения абонентов Wi-Fi сети первый способ разбиения абонентов на группы позволил получить суммарную скорость абонентов двух групп 12,202 Мбит/сек, а второй способ – 13,007 Мбит/сек.

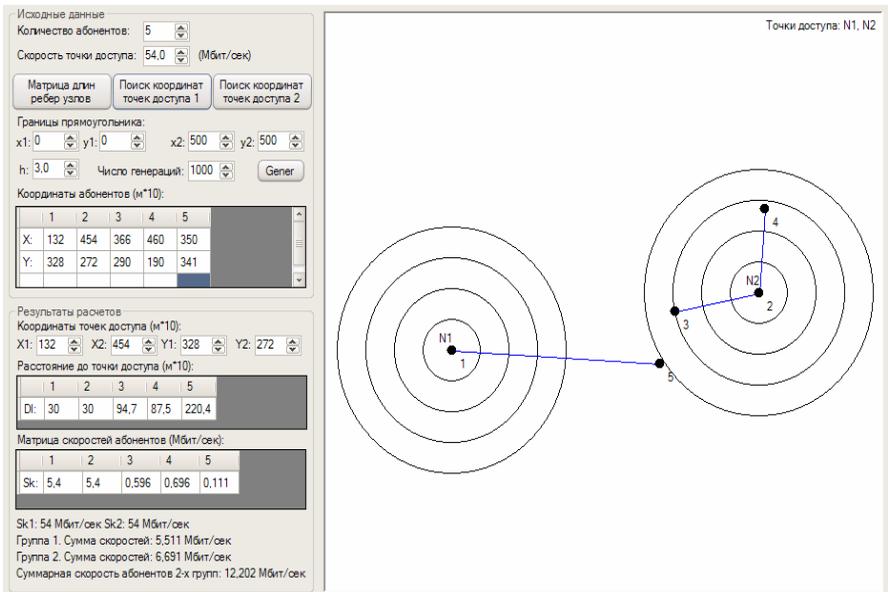


Рис. 1 – Результаты выбора координат двух точек доступа при разбиении абонентов на группы с использованием прямоугольника

В табл. 1 и 2 приведены результаты вычислительных экспериментов по исследованию влияния способа разбиения абонентов на две группы на суммарную скорость приема/передачи данных абонентами двух групп. При случае $S1=S2$ оба способа разбиения абонентов на группы дают одинаковые суммарные скорости приема/передачи данных, при случае $S1>S2$ – первый способ разбиения абонентов дает лучший результат, при случае $S1<S2$ – вто-

рой способ разбиения абонентов дает лучший результат, величина k равна отношению сторон прямоугольника, в котором расположены абоненты, величина n равна числу абонентов. Процент случаев $S1=S2$, $S1>S2$ и $S1<S2$ определялся как среднее арифметическое из $K=1000$ значений, то есть для каждого числа абонентов n их координаты генерировались случайным образом K раз.

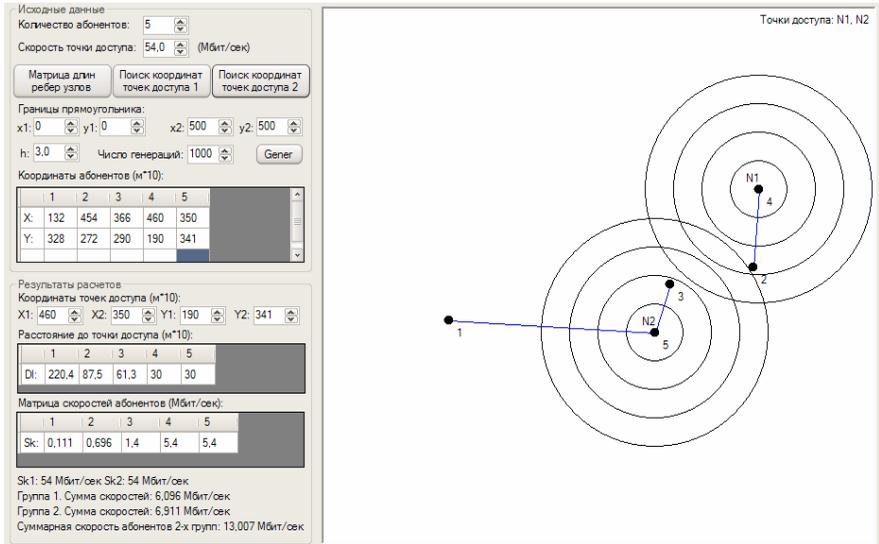


Рис. 2 – Результаты выбора координат двух точек доступа при разбиении абонентов на группы с использованием гамильтоновой цепи минимальной длины

Таблица 1 – Процент случаев $S1=S2$, $S1>S2$ и $S1<S2$ для $n=15$

Условие	k=1	k=2	k=3	k=4	k=5
$S1=S2$	5,9	19,1	20,3	26,6	26,6
$S1>S2$	43,2	39,5	37,4	35,5	33,7
$S1<S2$	50,9	41,4	42,3	37,9	39,7

Таблица 2 – Процент случаев $S1=S2$, $S1>S2$ и $S1<S2$ для $k=1,5$

Условие	n=5	n=10	n=15	n=20	n=25
$S1=S2$	36,8	38,3	12,7	14,3	6,8
$S1>S2$	4,5	30,5	41,5	47,6	50,9
$S1<S2$	58,7	31,2	45,8	38,1	42,3

На основании табл. 1 и табл. 2 построены графики на рис. 3 и рис. 4.

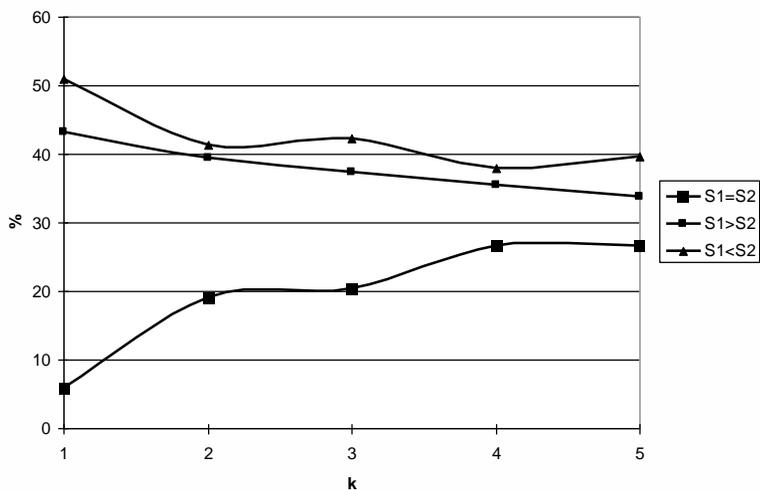


Рис. 3 – Процент случаев $S1=S2$, $S1>S2$ и $S1<S2$ в зависимости от величины отношения сторон прямоугольника k для $n=15$

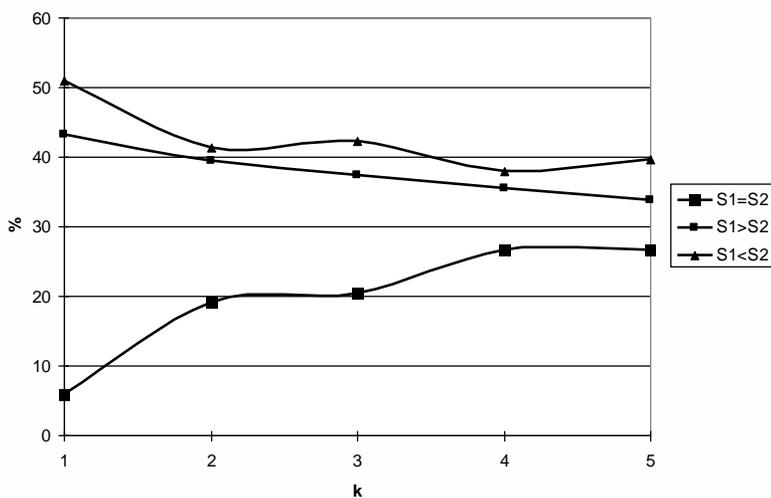


Рис. 4 – Процент случаев $S1=S2$, $S1>S2$ и $S1<S2$ в зависимости от от числа абонентов n

Выводы. Результаты вычислительных экспериментов показали, что разбиение абонентов на две группы с использованием минимальной гамильтоновой цепи является по сравнению с разбиением с помощью прямоугольника более трудоемкой процедурой. С ростом величины отношения сторон прямоугольника k процент случаев $S1=S2$ растет, а проценты случаев $S1>S2$ и $S1<S2$ убывают, незначительно отличаясь друг от друга (рис. 3). С ростом числа абонентов n процент случаев $S1=S2$ убывает, а проценты случаев $S1>S2$ и $S1<S2$ возрастают (рис. 4).

Перспективным направлением дальнейших исследований является построение и использование для выбора координат точек доступа более адекватной модели зависимости скорости приема/передачи абонента от расстояния и от условий распространения сигнала от него до точки доступа.

Список литературы: 1. Рошан П., Лиери Д. Основы построения беспроводных сетей стандарта 802.11. – М.: "Вильямс", 2004. – 304 с. 2. Олифер В. Г., Олифер Н. А. Компьютерные сети. Принципы, технологии, протоколы. – СПб.: Питер, 2006. – 958 с.. 3. Шостак А. В. О размещении точки доступа в Wi-Fi сети / А. В. Шостак // Системи управління, навігації та зв'язку. Київ ЦНДІ НІУ. Випуск 2 (14), 2010. – С. 241 – 243.

Bibliography (transliterated): 1. Roshan P., Lieri D. *Osnovyi postroeniya besprovodnyih setey standarta 802.11.* – М.: "Vilyams", 2004. Print. 2. Olifer V. G., Olifer N. A. *Kompyuternyye seti. Printsipy, tehnologii, protokolyi.* – SPb.: Piter, 2006. Print.. 3. Shostak A. V. *O razmeschenii tochki dostupa v Wi-Fi seti* / A. V. Shostak // *Sistemi upravlinnya, navigatsiyi ta zv'yazku.* Kiev TsNDI NIU. Vpusk 2 (14), 2010. 241 – 243. Print.

Поступила (received) 05.02.2015

О.В. ШУТЕНКО, канд. техн. наук, доцент, НТУ «ХПИ»

А.Н. БОРИСЕНКО, д-р техн. наук, проф., НТУ «ХПИ»

А.Б. БОГАЕВСКИЙ, д-р техн. наук, проф. ХНАДУ;

С.А. ЛИТВИНЕНКО, ст.преп., НТУ «ХПИ»;

Д.М. БАДАЛОВА, студ., НАКУ им.Жуковского «ХАИ»;

СИНТЕЗ ОБЪЕДИНЕННОЙ МАТЕМАТИЧЕСКОЙ МОДЕЛИ И СТРУКТУРЫ ПРЕОБРАЗОВАТЕЛЕЙ РЕЖИМНЫХ ПАРАМЕТРОВ ЭЛЕКТРОЭНЕРГЕТИЧЕСКОГО ОБЪЕКТА

Статья посвящена созданию обобщенной структуры и построению математических моделей преобразователей параметров движения топливозоизирующего органа и скорости вращения турбокомпрессора дизель – генераторной установки с наддувом в массу дополнительного воздуха, подаваемого в дизель при набросе нагрузки. На основании разработанных математических моделей синтезирована обобщенная структура преобразователя, обеспечивающего дополнительное воздушноснабжение дизель–генератора при набросе нагрузки.

Ключевые слова: математическая модель, дизель, клапан, двигатель.

Постановка проблемы. Дизель–электрические агрегаты получили широкое распространение в качестве источников электрической энергии во многих отраслях народного хозяйства. Для повышения энергетических показателей эти установки снабжаются автономным турбокомпрессором, подающим воздух в дизель и улучшающим, тем самым, процесс сгорания и превращения энергии топлива механическую работу. Однако в переходных режимах работы, вызванных набросами нагрузки, турбокомпрессор вследствие своей инерциальности не успевает в полной мере наращивать подачу наддувочного воздуха и рабочий процесс дизеля протекает неудовлетворительно [1]. Для улучшения последнего обеспечиваются специальные мероприятия по дополнительному воздушноснабжению дизеля [2].

Анализ литературы показывает, что в настоящее время уже имеются некоторые технические решения, обеспечивающие дополнительное воздушноснабжение дизель – генераторов с газотурбинным наддувом в переходных режимах работы [3 - 6], с учетом ряда управляющих и возмущающих воздействий. При этом, однако, отсутствует обобщенная структура преобразователя соответствующих параметров в массу дополнительного воздуха и математические модели происходящих при этом процессов.

Цель статьи. Построение математической модели и синтез обобщенной структуры преобразователя параметров управления и режима работы дизель–генератора при массе дополнительно подаваемого воздуха.

Составим математическую модель процессов, описанных в [7 - 9].

На работающем двигателе измеряются скорость движения топливodoзирующего органа V_{HP} и угловая скорость турбокомпрессора ω_κ с помощью датчиков, выходные сигналы которых можно записать как

$$U_{HP} = K_{HP} V_{HP} \quad (1)$$

$$U_{TK} = K_{TK} \omega_\kappa, \quad (2)$$

где K_{HP} – коэффициент передачи датчика скорости топливodoзирующего органа, K_{TK} – коэффициент передачи датчика угловой скорости ТК.

Разностный сигнал этих датчиков интегрируется

$$U = \frac{1}{T_I} \int_{t_0}^{t_\kappa} (K_{HP} V_{HP} - K_{TK} \omega_\kappa) dt > 0, \quad (3)$$

где T_I – постоянная интегратора, и после усиления подается на обмотку электродинамического преобразователя (ЭДП), управляющего запорным клапаном дополнительного воздухообеспечения.

Перемещение якоря ЭДП определяется по формуле

$$X_{\text{ВЫХ}}(t) = \frac{K_{ЭМ} V_\Delta}{D_\Delta}, \quad (4)$$

где $D_\Delta = \left(T_\Delta \frac{di}{dt} + 1 \right) \left(T_1^2 \frac{d^2 X}{dt^2} + T_2 \frac{dX}{dt} + 1 \right);$

T_Δ – электрическая постоянная времени электромагнита;

i – мгновенное значение тока в обмотке электромагнита;

X – перемещение якоря электромагнита;

$$T_1 = \sqrt{\frac{m}{k_{II}}};$$

$$T_2 = \frac{\eta_{ЭМ}}{k_{II}};$$

V_Δ – напряжение на обмотке электромагнита;

k_{II} – жесткость пружины электромагнита;

m – масса подвижных частей электромагнита;

$K_{ЭМ}$ – коэффициент передачи электромагнита;

$\eta_{ЭМ}$ – коэффициент демпфирования электромагнита.

$V(t) = K_{PEC} X(t)$, где K_{PEC} – коэффициент пропорциональности между выходным сечением клапана и перемещением якоря электромагнита.

Подача дополнительного воздуха приводит к увеличению давления наддува

$$P_S = P_{TK} + K_b K_{PEC} X(t), \quad (5)$$

где P_{TK} – давление наддува, создаваемое турбокомпрессором;

K_b – коэффициент пропорциональности между массой и давлением дополнительного воздуха.

При резком увеличении топливоподачи в случае наброса нагрузки сигнал (3) растет, поскольку ω_k изменяется много медленнее цикловой подачи топлива (на реальном двигателе), вызывает увеличение хода клапана, согласно (4), и подачу дополнительного воздуха в дизель, масса которого равна с учетом (3), (4), (5)

$$Q_D(t) = \frac{K_{pec}}{T_{II}} \cdot \frac{K_{ЭДП} \int_{t_0}^{t_k} (K_{HP} V_{HP} - K_{TK} \omega_k) dt}{D_3}, \quad (6)$$

где $K_{ЭДП}$ – коэффициент передачи электродинамического преобразователя по перемещению.

Подача дополнительного воздуха приводит к росту ω_k , что ранее уже отмечалось, и уменьшению напряжения (3). Увеличение ω_k влечет за собой возрастание P_{TK} , а снижение напряжения на обмотке исполнительного органа (электромагнитного или электродинамического преобразователя) – снижение массы дополнительного воздуха Q_D . Однако

$$P_s = P_{TK} + K_b Q_D \approx const. \quad (7)$$

При выходе дизеля в установившийся режим работы $K_{HP} V_{HP} = K_{TK} \omega_k$ и дополнительное воздухообеспечение согласно (3) отсутствует.

Таким образом, в рассмотренной модели $Q_D = Q_D(P_{TK}, h_p)$, благодаря чему имеет место согласование топливоподачи и воздухообеспечения дизеля в переходных режимах.

При плавном перемещении или неподвижном органе управления топливоподачей неравенство (3) не выполняется и дополнительный воздух не подается. Модель процессов, описанных в [8], отличается от рассмотренной выше в связи с двумя обстоятельствами. Во-первых, в переходном режиме дизеля, вызываемом набросом нагрузки, напряжение на обмотке запорного органа зависит еще и от разности фактического и минимально допустимого давлений в источнике сжатого воздуха, но не зависит от текущего значения угловой скорости ротора турбокомпрессора ω_k , во-вторых, отключение подачи дополнительного воздуха при окончании переходного процесса происходит при достижении частотой ω_k некоторого порогового значения. Таким образом, можно записать

$$U = \frac{1}{T_{II}} \int_{t_0}^{t_k} K_{HP} V_{HP} dt + K_{ДД} (P_{ИН} - P_{ИФ}), \quad (8)$$

где $K_{ДД}$ – коэффициент передачи датчика давления;
 $P_{ИН}$ – минимально допустимое давление в источнике сжатого воздуха;
 $P_{ИФ}$ – фактическое давление в источнике сжатого воздуха.
 С учетом (8) вместо (6) запишем соотношение

$$Q_{Д} = \frac{K_{рес}}{T_{И}} \cdot \frac{K_{ЭДП} \int_{t_0}^{t_k} K_{НР} V_{НР} dt - K_{ДД} (P_{ИН} - P_{ИФ})}{D_3} \quad (9)$$

Кроме того, для момента отключения дополнительного воздухообеспечения имеем $Q_{Д} = 0$ при $\omega_k = \omega_{кп}$,

где $\omega_{кп}$ – пороговое значение угловой скорости турбокомпрессора.

Процесс управления двигателем [9] отличается от предыдущего тем, что напряжение на обмотке органа управления дополнительным воздухообеспечением описывается по закону:

$$U = \frac{1}{T_{И}} \int_{t_0}^{t_{НР}} (K_{НР} V_{НР} - K_{ДД} P_{ИФ}) dt, \quad (10)$$

где $t_{НР}$ – время перемещения топливodoзирующего органа.

Обобщенная блок – схема устройства подачи дополнительного воздуха в дизель показана на рис. 1.

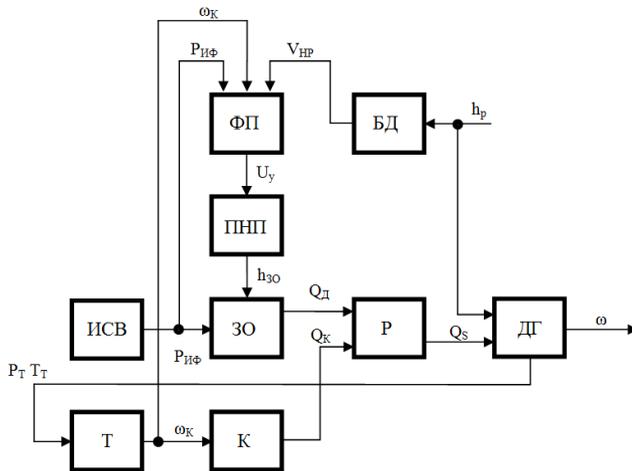


Рис. 1 – Обобщенная блок-схема устройства подачи дополнительного воздуха:

ФП – функциональный преобразователь;

БД – блок дифференцирования;

ПНП – преобразователь «напряжение – перемещение»;

ИСВ – источник сжатого воздуха;
ЗО – запорный орган;
Р – ресивер;
ДГ – дизель – генератор;
Т – турбина;
К – компрессор;
 h_p, V_{HP} – выход рейки топливodoзирующего органа и скорость его движения;
 ω, ω_K – угловая скорость дизель – генератора и компрессора;
 P_T, T_T – давление и температура газов перед турбиной;
 Q_K, Q_S, Q_D – суммарный расход, расход наддувочного и дополнительного воздуха;
 U_y – напряжение управления;
 h_{ZO} – перемещение запорного органа;
 $P_{ф}$ – фактическое давление в источнике сжатого воздуха.

Выражения (6), (9) и (10) представляют собой математические модели, достаточно полно описывающие процессы преобразования основных параметров, таких, как скорость движения топливodoзирующего органа, угловую скорость турбокомпрессора, фактическое и номинальное давления в источнике сжатого воздуха, коэффициенты передачи и постоянные времени ресивера и электродинамического преобразователя и др. в массу дополнительного подаваемого в дизель сжатого воздуха. Эти модели легли в основу создания обобщенной структуры устройства подачи дополнительного воздуха, показанной на рисунке.

Выводы. На основании разработанных математических моделей синтезирована обобщенная структура преобразователя, обеспечивающего дополнительное воздухообеспечение дизель – генератора при набросе нагрузки и, тем самым, повышающего его технико – экономические показатели.

Список литературы: 1. *Костромин А.М.* Оптимальное управление локомотивом. – М.: Транспорт, 1979. – 119с. 2. *Кольбин Ю.Н.* Квазиоптимальные электронные регуляторы переходных режимов стационарных дизель-генераторов с дополнительным воздухообеспечением: Автореферат дис. на соискание степени кандидата технических наук/ Харьковский политехнический институт. – Харьков, 1986. – 18с. 3. *Богаевский А.Б.* Повышение топливной эффективности мощной транспортной дизельной установки за счет применения микроконтроллерного регулятора частоты вращения и мощности. / А.Б. Богаевский // Сборник доклады, XI научно – техническая конференция с международно участие, «Транспорт, экология - устойчиво развитие», ЕкоВарна. – 2005. – с. 459 – 463. 4. *Богаевский А.Б.* Определение параметров управления мощной транспортной дизель – генераторной установкой в переходных режимах. / *А.Б. Богаевский* // Вестник НТУ «ХПИ», тем. вып. «Проблемы автоматизированного электропривода. Теория и практика». Харьков. – 2005. - №45. – с. 291 – 292. 5. *Богаевский А.Б.* Применение электромагнитных исполнительных двигателей пропорционального типа в системах автоматического регулирования частоты транспортных дизелей / *А. Б. Богаевский, А.В. Басов, С.Г. Буряковский* // В кн. «Проблемы автоматизированного электропривода». Труды н. – тех. конф. Харьков. – 1997. с. 259 – 260. (Автором предложена модель электричного исполнительного органа як элементу системи забезпечення подачі палива). 6. *Богаевський О.Б.* Оптимізація пере-

72 ISSN 2079-083x. Вісник НТУ "ХПИ". 2015. № 29 (1138)

хідних процесів тепловозних дизелів з застосуванням електронних керуючих систем. / Е.Д. Тартаковський, В.О. Матяш, О.Б. Бogaевський, Д.О. Аулін. // 36. наук. праць. – Харків: УкрДАЗТ. – 2007. – вип. 86. – с. 177 – 181. (Автором показані переваги електронних систем при забезпеченні перехідних режимів тепловозів).

7. Устройство для регулирования подачи дополнительного воздуха в двигатель внутреннего сгорания: А.с. 1495474. СССР. МКИ F02D41/10,23/02/ Борисенко А.Н., Кольбин Ю.Н. – №4238090/25-06; Заявл.28.04.87; Оpubл.23.07.89. Бюл. № 27. – 3 с.:ил. **8.** Пристрій керування дизелем з наддуванням : Декларацийний патент на корисну модель. № 8373. М. Кл. F02D43/00 41/00. Оpubл. 15.08.2005. Бюл. №8. / Кравец' В.О., Колибін Ю.М., Ріттер А.В.

9. Пристрій для керування дизелем з наддуванням: Патент на корисну модель №35848, Україна, 2008 : Кравец' В.О., Колибін Ю.М., Заповольський М.Й., Бaленко О.І.

Bibliography (transliterated): **1.** Kostromin A.M. *Optimal'noe upravlenie lokomotivom.* – М.: Transport, 1979. – 119p. **2.** Kolybin Ju.N. *Kvazioptimal'nye jelektronnye reguljatory perehodnyh rezhimov stacionarnykh dizel'-generatorov s dopolnitel'nym vozduhosnabzheniem:* Avtoreferat dis. na soiskanie stepeni kandidata tehniceskikh nauk/ Har'kovskij politehniceskij institut. – Kharkov, 1986. – 18p. **3.** Bogaevskij A.B. *Povyshenie toplivnoj jeffektivnosti moshhnoj transportnoj dizel'noj ustanovki za schet primenenija mikrokontrollernogo reguljatora chastoty vrashhenija i moshhnosti.* / A.B. Bogaevskij // Sbornik dokladi, XI nauchno – tehniceskaja konferencija s mezhdunarodno uchastie, «Transport, ekologija - ustojchivo razvitie», EkoVarna. – 2005. – p. 459 – 463. **4.** Bogaevskij A.B. *Opreделение parametrov upravlenija moshhnoj transportnoj dizel' – generatornoj ustanovkoj v perehodnyh rezhimakh.* / A.B. Bogaevskij // Vestnik NTU «KhPI», tem. vyp. «Problemy avtomatizirovannogo jelektroprivoda. Teorija i praktika». Kharkov. – 2005. - No45. – p. 291 – 292. **5.** Bogaevskij A.B. *Primenenie jelektromagnitnyh ispolnitel'nykh dvigatelej proporcional'nogo tipa v sistemah avtomaticheskogo regulirovanija chastoty transportnykh dizeleju* / A. B. Bogaevskij, A.V. Basov, S.G. Burjakovskij // V kn. «Problemy avtomatizirovannogo jelektroprivoda». Trudy n. – teh. konf. Kharkov. – 1997. p. 259 – 260. **6.** Bogaev'skij O.B. *Optimizacija perehidnyh procesiv teplovoznykh dizeliv z zastosuvannjam eelektronnykh kerujuchih sistem.* / E.D. Tartakov'skij, V.O. Matjash, O.B. Bogaev'skij, D.O. Aulin. // Zb. nauk. prac'. – Kharkiv: UkrDAZT. – 2007. – vol. 86. – p. 177 – 181. **7.** *Ustrojstvo dlja regulirovanija podachi dopolnitel'nogo vozduha v dvigatel' vnutrennego sgoranija:* А.с. 1495474. SSSR. МКИ F02D41/10,23/02/ Борисенко А.Н., Кolybin Ju.N. – No4238090/25-06; Заявл.28.04.87; Оpubl.23.07.89. Бjul. No 27. – 3 p. **8.** *Prisrij keruvannja dizelem z nadduvannjam :* Декларациjnij патент на корисну модел'. No 8373. М. Кл. F02D43/00 41/00. Оpubл. 15.08.2005. Бjul. No8. / Kravec' V.O., Kolibin Ju.M., Ritter A.V. **9.** *Prisrij dlja keruvannja dizelem z nadduvannjam:* Patent на корисну модел' No35848, Ukraine, 2008 : Kravec' V.O., Kolibin Ju.M., Zapolov'skij M.J., Balenko O.I.

Поступила в редколлегию 12.05.2015

РЕФЕРАТИ

УДК 681.518

Дослідження динамічних та температурних похибок лазерної системи при тестовому контролі / І.В. Григоренко, А.С. Бєлєвцова, О.В. Харченко // Вісник НТУ «ХПІ». Серія: Автоматика та приладобудування. – Харків : НТУ «ХПІ», 2015 – № 29 (1138). – С. 3–7. – Бібліогр.: 4 назв. – ISSN 2079-083x.

У статті представлено аналіз можливості підвищення точності лазерного діагностичного приладу шляхом оцінки динамічної та температурної похибок у системах лазерного контролю. Запропоновано оцінювати динамічну похибку, що виникає при відпрацюванні східчастого тесту за інтегральним критерієм помилки. Для врахування температурної похибки запропоновано провести розрахунок та аналіз температурних режимів роботи лазерної системи контролю, а за його результатами – введення у розрахункові формули коефіцієнтів, що враховують вплив температурних дрейфів на результати вимірювань.

Ключові слова: інтегральний критерій помилки, система лазерного контролю, вимірювальний пристрій, тестові методи контролю лазерних систем.

УДК 621.31

Безпроводна система моніторингу напружено-деформованого стану будівель та споруд / О.П. Давиденко, О.О.Безус // Вісник НТУ «ХПІ». Серія: Автоматика та приладобудування. – Харків : НТУ «ХПІ», 2015. – № 29 (1138). – С. 8–10. – Бібліогр.: 6 назв. – ISSN 2079-083x.

У статті розглянуті питання побудови системи моніторингу напружено-деформованого стану будівель та споруд. Враховуючи недоліки провідної системи пропонується використання безпроводної системи з сенсорними вузлами. Наведені переваги даної системи. Обговорюються питання вибору первинних перетворювачів для визначення фізичного та силового впливу, координатора та необхідної елементної бази. Наведена структурна схема безпроводної системи моніторингу та схема сенсорного вузла.

Ключові слова: безпроводна система моніторингу, деформація, сенсорний вузол.

УДК 665.9

Аналіз фонокардіографічних даних за допомогою вейвлет-перетворень/ О. П. Давиденко, С. В. Мішина // Вісник НТУ «ХПІ». Серія: Автоматика та приладобудування. – Харків : НТУ «ХПІ», 2015. – № 29 (1138). – С. 11–17. – Бібліогр.: 6 назв. – ISSN 2079-083x.

У статті розглянуті недоліки перетворення Фур'є при обробці фонокардіографічних даних. У зв'язку з нестационарністю акустичного сигналу серця пропонується використання вейвлет-перетворень. Обговорюється проблема вибору оптимальної вейвлет-функції для аналізу ФКГ. Пропонується використання пакету LabView у якості програмного забезпечення. Наведені результати досліджень на прикладі ФКГ здорового та хворого серця. Застосування вейвлет-перетворень збільшує кількість діагностично важливої інформації, виявляючи ті особливості сигналів, які не можуть бути зареєстровані такими методами, як аускультация і фонокардіографія.

Ключові слова: фонокардіограма, фонокардіографія, нестационарний сигнал, вейвлет-перетворення, перетворення Фур'є, скалограма, обробка.

УДК 004.5, УДК 615.47

Блок усилєння біопотенциалов мозга оператора тренажерного комплекса / П. А. Качанов, А. А. Зуев, К. Н. Яценко // Вісник НТУ «ХПІ». Серія: Автоматика та приладобудування. – Харків : НТУ «ХПІ», 2015. – №29 (1138). – С.18–22. – Бібліогр.: 5 назв. – ISSN 2079-083x.

У статті розглядається базова структура і особливості нейрокомп'ютерного інтерфейса (НКІ). На сьогодні цей вид людино-машинної взаємодії набирає все більшого поширення.

Розглянуто його можливе застосування в тренажерних комплексах. Запропоновано схему блоку посилення біопотенціалів мозку людини, як складова частина НКІ. Наведено характеристики й

описані ключові електронні компоненти схеми. Проведено дослідження і симуляція схеми. Розглянуто її характеристики.

Ключові слова: ЕЕГ, нейрокомп'ютерний інтерфейс, людино-машинна взаємодія, AD8220, AD7691.

УДК .621.314

Система тестового контролю метрологічних характеристик технологічного процесу / С.І. Кондрашов, Р.П. Мигущенко, М.І. Опришкіна, О.В. Мацак // Вісник НТУ «ХПІ». Серія: Автоматика та приладобудування. – Харків.: НТУ «ХПІ», 2015. – №29 (1138). – С. 23–27. Библиогр.: 7 назв. – ISSN 2079-083x.

У роботі розглянуті актуальні питання підвищення точності первинних вимірювальних перетворювачів з нелінійною дробово-раціональною функцією перетворення. Розроблена система тестового контролю метрологічних характеристик вимірювальних каналів дозволила підвищити якість продукції та заощадити технічні і матеріальні ресурси. Підвищення точності смісного каналу вимірювання у автоматичній ливарній машині після застосування системи становить 15%. Впровадження системи дозволило контролювати стан первинних перетворювачів без переривання технологічного процесу.

Ключові слова: тестовий контроль, смісний давач, реляційно-різницева модель.

УДК 621.396

Погрешности определения высоты перехода к лёгким ионам при исследовании ионосферы методом некогерентного рассеяния / Д.В. Котов, А.В. Богомаз // Вісник НТУ «ХПІ». Серія: Автоматика та приладобудування. – Харків : НТУ «ХПІ». – 2015. – N 29 (1138). – С. 28–32. Библиогр.: 10 назв. – ISSN 2079-083x.

Досліджено похибки вимірювань висоти переходу до легких іонів за допомогою метода некогерентного розсіяння. Проведено моделювання розв'язків прямої і зворотної радіофізичних задач. Результати моделювання свідчать про те, що головний вклад у похибку вимірювання висоти переходу до легких іонів вносять статистичні похибки вимірювань відносних концентрацій іонів водню та гелію. Методичні похибки є малими у порівнянні зі статистичними.

Ключові слова: радар некогерентного розсіяння, висота переходу до легких іонів, моделювання, похибки.

УДК 621.394

Методы формирования группового широкополосного сигнала во временной и частотной области / В.А. Крылова // Вісник НТУ «ХПІ». Серія: Автоматика та приладобудування. – Харків : НТУ «ХПІ». – 2015. – N 29 (1138). – С. 33–37. Библиогр.: 5 назв. – ISSN 2079-083x.

Розглянуто методи синтезу сигналів з штучно розширеним спектром, на основі групового широкопasmового сигналу. Показано, що для отримання сигналу з розширеною базою необхідно використовувати цифровий гребінчастий фільтр, параметри якого на передавальній і приймальній стороні збігаються. Розроблено метод формування сигналів з штучно створюваними гребінчастими спектрами, які належать до класу широкопasmових сигналів, що дозволяє забезпечити ефективне використання частотної ресурсу системи передачі, шляхом усунення захисних інтервалів між індивідуальними каналами.

Ключові слова: канал зв'язку, комп'ютеризовані системи і мережі, система захисту інформації, адаптивне кодування, широкопasmові сигнали, гребінчастий спектр сигналу, сигнально-кодова конструкція.

УДК 621.924

Автономная система анализа деятельности центральной нервной системы / Т.Г. Машенко, О.С. Сомхива, М.В. Довгаль // Вісник НТУ «ХПІ». Серія: Автоматика та приладобудування. – Харків.: НТУ «ХПІ», 2015. – № 29 (1138). – С.38 – 42. Библиогр.: 3 назв.

У статті представлений прототип системи для аналізу діяльності центральної нервової системи (ЦНС). Основним призначенням даної системи є збір, інтерпретація та подання

ISSN 2079-083x. Вісник НТУ "ХПІ". 2015. № 29 (1138)

кінцевому користувачеві результатів обробки отриманих при електроенцефалографічних дослідженнях даних. За допомогою даної системи можна досліджувати біопотенціали головного мозку, проводити діагностику різних захворювань ЦНС. Також описується за рахунок чого досягається мінімізація витрат на собівартість даної системи.

Ключові слова: електроенцефалографія, діагностична система, блок обробки інформації, аналізатор, модуль пам'яті, блок периферійних виводів.

УДК 616.012

Применение метода дисперсионного картирования для диагностики заболеваний сердца. / Т. Г. Машенко, О. С. Сомхнева, А. Ю. Железнякова, // Вісник НТУ «ХП». Серія: Автоматика та приладобудування. – Харків: НТУ «ХП», 2015. – № 29 (1138). – С. 43–48. – Бібліогр.: 6 назв. – ISSN 2079-083x.

У статті розглянуті питання використання методу дисперсійного картування для оцінки стану серцево-судинної системи людини. Багато захворювань в даній області на початкових етапах протікають практично безсимптомно, проте метод дисперсійного картування дозволяє діагностувати різні захворювання серця на ранніх стадіях їх виникнення при дошпитальному контролі, а також проводити своєчасне лікування цих захворювань, особливо шемічної хвороби серця.

Ключові слова: електрокардіограма, ЕКГ - сигнал, дисперсійне картування, низькоамплітудні коливання.

УДК 389:530.145(075)

Перспективи подальшого вдосконалення Міжнародної системи одиниць SI / Ю. Ф. Павленко, К. В. Голікова // Вісник НТУ «ХП». Серія: Автоматика та приладобудування. – Харків: НТУ «ХП», 2015. – № 29 (1138). – С. 49 – 54. – Бібліогр.: 4 назв. – ISSN 2079-083x.

В статті наведено перспективи подальшого вдосконалення Міжнародної системи одиниць, проект перевизначень ампера, кельвіна, моля, кілограма, секунди, метра, кандели через ФФС, а також шляхи створення природного еталона маси. Розглядаються наслідки перевизначення основних одиниць на подальший розвиток квантової метрології. Найважливішим наслідком нової системи буде позбавлення від останнього артефакту – прототипу кілограма і перехід на його природне визначення.

Ключові слова: одиниця, система SI, перевизначення, еталон, ФФС, кілограм, ампер, кельвін, моль, дуалізм, артефакт.

УДК 661.83.3: 519.615.7

Спиральная S – матрица и рост кристалла / В. С. Суздаль. // Вісник НТУ «ХП». Серія: Автоматика та приладобудування. – Харків: НТУ «ХП», 2015. – № 29 (1138). – С. 55 – 61. – Бібліогр.: 6 назв. – ISSN 2079-083x.

Розглядається спіральний механізм росту кристалла гвинтовою спіраллю, виходячи з передумови про наявність у кристалічному зародку незначущої дислокаційної сходинок. Запропоновано матричну модель однозаходної дислокаційної спіралі типу Архімедяної на грані росту кристалла, у вигляді спіральної S-матриці. Уведене поняття спіралі q - роду й показана практична значимість S-матриці, для вирощування кристалів великих розмірів по спіралі с більшим q.

Ключові слова: кристал, ріст, механізм, спіраль, модель, S-матриця.

УДК 004.42

О выборе координат размещения точек доступа в wi-fi сети / А.В. Шостак, Ю.И. Дорошенко // Вісник НТУ «ХП». Серія: Автоматика та приладобудування. – Харків: НТУ «ХП», 2015. – № 29 (1138). – С. 62–67. – Бібліогр.: 3 назв. – ISSN 2079-083x.

Проаналізовано два різних підходи до оптимізації взаємного розташування двох точок доступу Wi-Fi мережі з метою максимізації сумарної швидкості передачі даних двома групами абонентів за допомогою вибору координат двох точок доступу. Розглянуто вплив способів розташування точок доступу, розмірів області розташування абонентів та кількості абонентів на

сумарну швидкість прийому/передачі абонентів мережі, при цьому вирішувалась задача розбиття n абонентів на дві рівні (з точністю до 1) частини.

Ключові слова: мережа Wi-Fi, точка доступу, оптимізація розташування.

УДК 629.424.3:621.314.12

Синтез объединенной математической модели и структуры преобразователей режимных параметров электроэнергетического объекта / О.В. Шутенко, А. М. Борисенко, А.Б. Богасвський, С.А. Литвиненко, Д.М. Баладова // Вісник НТУ «ХПІ». Серія: Автоматика та приладобудування. – Харків: НТУ «ХПІ», 2015. – № 29 (1138). – С. 68–73. – Бібліогр.: 9 назв. – ISSN 2079-083x.

Стаття присвячена створенню узагальненої структури і побудові математичних моделей перетворювачів параметрів руху паливо дозуючого органу і швидкості обертання турбокомпресора дизель-генераторної установки з наддувом в масу додаткового повітря, що подається в дизель при накиданні навантаження. На підставі розроблених математичних моделей синтезована узагальнена структура перетворювача, що забезпечує додаткове повітря забезпечення дизель-генератора при накиданні навантаження.

Ключові слова: математична модель, дизель, клапан, двигун.

РЕФЕРАТЫ

УДК 681.518

Исследование динамических и температурных погрешностей лазерной системы при тестовом контроле / И.В. Григоренко, А.С. Белецова, О.В. Харченко // Вісник НТУ «ХПІ». Серія: Автоматика та приладобудування. – Харків : НТУ «ХПІ», 2015 – № 29 (1138). – С. 3–7. – Бібліогр.: 4 назв. – ISSN 2079-083x.

В статье представлен анализ возможности повышения точности лазерного диагностического прибора путем оценки динамической и температурной погрешностей в системах лазерного контроля. Предложено оценивать динамическую погрешность, которая возникает при обработке ступенчатого теста, по интегральному критерию ошибки. Для учета температурной погрешности предложено провести расчет и анализ температурных режимов работы лазерной системы контроля, а по его результатам - введение в расчетные формулы коэффициентов, которые учитывают влияние температурных дрейфов на результаты измерений. Применение предложенных подходов к оценке погрешностей даст возможность повысить качество и достоверность контроля лазерных диагностических систем.

Ключевые слова: интегральный критерий ошибки, система лазерного контроля, измерительное устройство, тестовые методы контроля лазерных систем.

УДК 621.31

Беспроводная система мониторинга напряженно-деформированного состояния зданий и сооружений / А.П. Давиденко, О.А.Безус // Вісник НТУ «ХПІ». Серія: Автоматика та приладобудування. – Харків. : НТУ «ХПІ», 2015. – № 29 (1138). – С. 8–10. – Бібліогр.: 6 назв. – ISSN 2079-083x.

В статье рассмотрены вопросы построения системы мониторинга напряженно-деформированного состояния зданий и сооружений. Учитывая недостатки проводной системы предлагается использование беспроводной системы с сенсорными узлами. Приведены преимущества данной системы. Обсуждаются вопросы выбора первичных преобразователей для определения физического и силового воздействия, координатора и необходимой элементной базы. Приведены структурная схема беспроводной системы мониторинга и схема сенсорного узла.

Ключевые слова: беспроводная система мониторинга, деформация, сенсорный узел.

УДК 665.9

Анализ фонокардиографических данных при помощи вейвлет-преобразований / А. П. Давиденко, С. В. Мишина // Вісник НТУ «ХПІ». Серія: Автоматика та приладобудування. – Харків : НТУ «ХПІ», 2015. – № 29 (1138). – С. 11–17. – Бібліогр.: 6 назв. – ISSN 2079-083x.

В статье рассмотрены недостатки преобразования Фурье при обработке фонокардиографического данных. В связи с нестационарностью акустического сигнала сердца предлагается использование вейвлет-преобразований. Обсуждается проблема выбора оптимальной вейвлет-функции для анализа ФКГ. Предлагается использование пакета LabView в качестве программного обеспечения. Приведены результаты исследований на примере ФКГ здорового и больного сердца. Применение вейвлет-преобразований увеличивает количество диагностически важной информации, выявляя те особенности сигналов, которые не могут быть зарегистрированы такими методами, как аускультация и фонокардиография.

Ключевые слова: фонокардиограмма, фонокардиография, нестационарный сигнал, вейвлет-преобразование, преобразование Фурье, скалограмма, обработка.

УДК 004.5, УДК 615.47

Блок усиления биопотенциалов мозга оператора тренажерного комплекса / П. А. Качанов, А. А. Зуев, К. Н. Яценко // Вісник НТУ «ХПІ». Серія: Автоматика та приладобудування. – Харків : НТУ «ХПІ», 2015. – № 29 (1138). – С. 18–22. – Бібліогр.: 5 назв. – ISSN 2079-083x.

В статье рассматривается базовая структура и особенности нейрокомпьютерного интерфейса (НКИ). На сегодня этот вид человеко-машинного взаимодействия набирает все большее распространение. Рассмотрено его возможное применение в тренажерных комплексах. Предложена схема блока усиления биопотенциалов мозга человека, как составная часть НКИ. Приведены характеристики и описаны ключевые электронные компоненты схемы. Произведено исследование и симуляция схемы. Рассмотрены ее характеристики.

Ключевые слова: ЭЭГ, нейрокомпьютерный интерфейс, человеко-машинное взаимодействие, AD8220, AD7691.

УДК .621.614

Система тестового контроля метрологических характеристик технологического процесса / С.И. Кондрашов, Р.П. Мигуценко, М.И. Опришкина, О.В. Мацак // Вісник НТУ «ХПІ». Серія: Автоматика та приладобудування. – Харків: НТУ «ХПІ», 2015. – №29 (1138). – С. 23–27. Бібліогр.: 7 назв. – ISSN 2079-083x.

В работе рассмотрены актуальные вопросы повышения точности первичных измерительных преобразователей с нелинейной дробно-рациональной функцией преобразования. Разработанная система тестового контроля метрологических характеристик измерительных каналов позволяет повысить качество продукции и сэкономить технические и материальные ресурсы. Повышение точности ёмкостного канала измерения в автоматической литейной машине после внедрения системы составляет 15%. Использование системы позволит контролировать состояние первичных преобразователей без прерывания технологического процесса.

Ключевые слова: тестовый контроль, ёмкостной датчик, реляционно-разностная модель.

УДК 621.396

Погрешности определения высоты перехода к лёгким ионам при исследовании ионосферы методом некогерентного рассеяния / Д.В. Котов, А.В. Богомаз // Вісник НТУ «ХПІ». Серія: Автоматика та приладобудування. – Харків : НТУ «ХПІ», 2015. – N 29 (1138). – С. 28–32. Бібліогр.: 10 назв. – ISSN 2079-083x.

Исследованы погрешности высоты перехода к лёгким ионам, измеряемой с помощью метода некогерентного рассеяния. Проведено моделирование решений прямой и обратной радиофизических задач. Результаты моделирования свидетельствуют о том, что главный вклад в погрешность определения высоты перехода к лёгким ионам вносят статистические погрешности измерений относительных концентраций ионов водорода и гелия. Методические погрешности малы по сравнению со статистическими.

Ключевые слова: радар некогерентного рассеяния, высота перехода к лёгким ионам, моделирование, погрешности.

УДК 621.394

Методы формирования группового широкополосного сигнала во временной и частотной области / В.А. Крылова // Вестник НТУ «ХПИ». Серия: Автоматика та приладобудування. – Харків : НТУ «ХПИ», 2015. – N 29 (1138). – С. 33–37. Бібліогр.: 5 назв. – ISSN 2079-083x.

Рассмотрены методы синтеза сигналов с искусственно расширенным спектром, на основе группового широкополосного сигнала. Показано, что для получения сигнала с расширенной базой необходимо использовать цифровой гребенчатый фильтр, параметры которого на передающей и приемной стороне совпадают. Разработан метод формирования сигналов с искусственно создаваемыми гребенчатыми спектрами, которые принадлежат к классу широкополосных сигналов, позволяющий обеспечить эффективное использование частотного ресурса системы передачи, путем устранения защитных интервалов между индивидуальными каналами.

Ключевые слова: компьютеризированные системы и сети, система защиты информации, адаптивное кодирование, широкополосные сигналы, сигнально-кодовые конструкции, гребенчатый фильтр.

УДК 621.924

Автономная система анализа деятельности центральной нервной системы / Т.Г. Машенко, О.С. Сомхиева, М.В. Довгаль // Вісник НТУ «ХПІ». Серія: Автоматика та приладобудування. – Харків.: НТУ «ХПІ», 2015. – № 29 (1138). – С.38 – 42. Бібліогр.: 3 назв. – ISSN 2079-083x.

В статье представлен прототип системы для анализа деятельности центральной нервной системы (ЦНС). Основным предназначением данной системы является сбор, интерпретация и представление конечному пользователю результатов обработки полученных при электроэнцефалографических исследования данных. С помощью данной системы можно исследовать биопотенциалы головного мозга, проводить диагностику различных заболеваний ЦНС. Также описывается за счет чего достигается минимизация затрат на себестоимость данной системы.

Ключевые слова: электроэнцефалография, диагностическая система, блок обработки информации, анализатор, модуль памяти, блок периферийных выводов.

УДК 389:530.145(075)

Перспективы дальнейшего улучшения Международной системы единиц SI / Ю. Ф. Павленко, К. В. Голикова // Вісник НТУ «ХПІ». Серія: Автоматика та приладобудування. – Харків.: НТУ «ХПІ», 2015. – № 29(1138). – С. 43 –48. – Бібліогр.: 4 назв. – ISSN 2079-083x.

В статье приведены перспективы дальнейшего улучшения Международной системы единиц, проект переопределения ампера, кельвина, моля, килограмма, секунды, метра, канделы через ФФС а также пути создания природного эталона массы. Рассматриваются последствия переопределения основных единиц на дальнейшее развитие квантовой метрологии. Самым важным последствием новой системы будет избавление от последнего артефакта – прототипа килограмма и переход на его природное определение.

Ключевые слова: единица, система SI, переопределение, эталон, ФФС, килограмм, ампер, кельвин, моль, дуализм, артефакт.

УДК 661.83.3: 519.615.7

Спиральная S – матрица и рост кристалла / В. С. Суздаль, // Вісник НТУ «ХПІ». Серія: Автоматика та приладобудування. – Харків: НТУ «ХПІ», 2015. – № 29 (1138). – С. 49 –54. – Бібліогр.: 6 назв. – ISSN 2079-083x.

Рассматривается спиральный механизм роста кристалла винтовой спиралью, исходя из предпосылки о наличии в кристаллическом зародыше не исчезающей дислокационной ступеньки. Предложена матричная модель однозаходной дислокационной спирали типа Архимедовой на грани роста кристалла, в виде спиральной S-матрицы. Введено понятие спирали q - рода и пока-

зана практическая значимость S-матрицы, для выращивания кристаллов больших размеров по спирали с большим q .

Ключевые слова: кристалл, рост, механизм, спираль, модель, S-матрица.

УДК 004.42

О выборе координат размещения точек доступа в wi-fi сети / А.В. Шостак, Ю.И. Дорошенко // Вісник НТУ «ХПІ». Серія: Автоматика та приладобудування. – Харків : НТУ «ХПІ», 2015. – № 29 (1138). – С. 55–61. – Бібліогр.: 3 назв. – ISSN 2079-083x.

Проанализированы два различных подхода к оптимизации взаимного расположения двух точек доступа в Wi-Fi сети с целью максимизации суммарной скорости передачи данных двумя группами абонентов посредством выбора координат двух точек доступа. Рассмотрено влияние способов расположения точек доступа, размеров области расположения абонентов и количества абонентов на суммарную скорость приема/передачи абонентов сети, при этом решалась задача разбиения n абонентов на две равные (с точностью до 1) части.

Ключевые слова: Wi-Fi сеть, точка доступа, оптимизация расположения.

УДК 629.424.3:621.314.12

Синтез объединенной математической модели и структуры преобразователей режимных параметров электроэнергетического объекта / О.В. Шутенко, А. Н. Борисенко, А.Б. Богаевский, С.А. Литвиненко, Д.М. Бадалова // Вісник НТУ «ХПІ». Серія: Автоматика та приладобудування. – Харків: НТУ «ХПІ», 2015. – № 29 (1138). – С. 68–73. – Бібліогр.: 9 назв. – ISSN 2079-083x.

Статья посвящена созданию обобщенной структуры и построению математических моделей преобразователей параметров движения топливоподающего органа и скорости вращения турбокомпрессора дизель – генераторной установки с наддувом в массу дополнительного воздуха, подаваемого в дизель при набросе нагрузки. На основании разработанных математических моделей синтезирована обобщенная структура преобразователя, обеспечивающего дополнительное воздушное снабжение дизель-генератора при набросе нагрузки.

Ключевые слова: математическая модель, дизель, клапан, двигатель.

ABSTRACTS

Investigation of dynamic and temperature errors of the laser system at test control / I.V. Hrihorenko, A.S. Byelyevtsova, O. V. Kharchenko // Bulletin of NTU "KhPI". Series: Automation and instrument making.. – Kharkiv : NTU "KhPI", 2015. – No 29 (1138). – P. 3–7. – Bibliogr.: 4. – ISSN 2079-083x.

The paper presents an analysis of the possibility of improving the accuracy of the laser diagnostic tool by evaluating the dynamic and thermal errors in laser systems control. Asked to evaluate the dynamic error that occurs when developing step test for the integral criterion error. To account for the temperature error invited to calculation and analysis of temperature modes of a laser control system, and its results - an introduction to the design formulas coefficients that take into account the effect of temperature drift on the measurement results. Application of the proposed approach to error estimation will enable to improve the quality and reliability of the control laser diagnostic systems.

Keywords: integral error criterion, the laser control system, measuring device, test methods of control of laser systems.

Wireless monitoring system of the stress-strain state of buildings and structures/A.P.Davydenko, O.A. Bezus// Bulletin of NTU "KhPI". ". Series: Automation and instrument making. – Kharkiv : NTU "KhPI", 2015. – No 29 (1138). – P. 8–10. – Bibliogr.: 6. – ISSN 2079-083x.

The questions of building monitoring system stress-strain state of buildings. Compared to wired and wireless monitoring system. Given the shortcomings of the conduction system proposes to use the wireless system with sensory nodes. These advantages of the system. Questions choice of primary transducers to determine the physical and force action coordinator and the necessary components for building sensor nodes. In the system used: String Strain gauge, inclinometer sensor and crack opening

displacement, pressure, temperature and humidity sensor. We describe the system works and how to mount the sensors on the building to be monitored. Wireless system is based protocol ZigBee. The above block diagram of a wireless monitoring system and location of the touch site.

Keywords: wireless monitoring system, strain, sensor assembly.

The analysis of PCG data using wavelet transforms/ A. P. Davidenko, S. V. Mishina // Bulletin of NTU "KhPI". Series: Automation and instrument making. – Kharkiv : NTU "KhPI", 2015. – No 29 (1138). – P. 11–17. – Bibliogr.: 6. – ISSN 2079-083x.

In the article the shortcomings of the Fourier transform in the processing of PCG data. Due to the acoustic heart signal nonstationarity proposed to use wavelet transforms. The problem of choosing the optimal wavelet functions for the analysis of PCG is discussed. It elected for reasons of similarity with the basic tones PCG signal for correct and objective analysis of PCG signals The using LabView programming tool set as software is suggested. The results of studies on the example of PCG of healthy and sick heart is presented. The using wavelet transforms is increases a quantity of important diagnostic information by detecting those features of signal which cannot be reported by methods such as auscultation and phonocardiography.

Keywords: phonocardiogram, phonocardiography, nonstationary signal, wavelet transform, Fourier transform, scalogram .processing.

The amplification unit of operator's brain potentials of training complex. / P. A. Kachanov, A. A. Zuev, K. N. Yatsenko // Bulletin of NTU "KhPI". Series: Automation and instrument making.. – Kharkiv : NTU "KhPI", 2015. – No 29 (1138). – P. 18–22. – Bibliogr.: 5. – ISSN 2079-083x.

The basic structure and features of brain-computer interface (BCI) are discussed. At present, this kind of human-computer interaction is becoming more and more common. Technology brain-computer interface allow person to learn how to control external devices via the voluntary regulation of own EEG directly from the brain without the involvement in the process of nerves and muscles. Possible application in training complexes is considered. As part of BCI the scheme of the gain block for human brain potentials amplification is presented. The characteristics and key components of electronic circuit are described. Study and simulation scheme are produced. Its characteristics are examined.

Keywords: EEG, brain-computer interface, human-computer interaction, AD8220, AD7691.

System test control metrological characteristics of the process / S.I. Kondrashov, R.P. Migushenko, M.I. Opryshkina, O.V. Matsak // Bulletin of National Technical University "KhPI" Series: Automation and instrument making – Kharkiv: NTU "KhPI", 2015. – No29 (1138). – p. 23 – 27. Bibliogr.: 7 titles. – ISSN 2079-083x.

The paper discusses the current issues of improving the accuracy of transducers with non-linear rational function transformation. To solve this problem we apply the theoretical developments in the field of test control. The algorithm of the test product testing. The developed system test control of metrological characteristics of measuring channels can improve product quality and save the technical and material resources. Increasing the accuracy of capacitive measurement channel in an automatic casting machine after the introduction of the system is 15%. Using the system will monitor the status of primary transducers without interrupting the process. Control of metal level has enhanced productivity and product quality.

Key words: test control, capacitive sensor, relational-difference model.

Errors in the light ions transition height estimation in the study of ionosphere by means of incoherent scattering technique / D.V. Kotov, O.V. Bogomaz // Bulletin of NTU "KhPI". Series: Automatics and instrument making. – Kharkiv : NTU "KhPI", 2015. – No 29 (1138). – P. 28–32. – Bibliogr.: 10. – ISSN 2079-083x.

Errors in light ions transition height measured by incoherent scatter technique are studied. Simulation of direct and inverse radiophysical problems' solutions are made. The most correct model (radar ambiguity function that was calculated using actual pulse response of radar's receiver and pulse envelope) was used to simulate ACFs of IS signal and the results of inverse radiophysical problem solution. The results demonstrate that main contribution to the error in light ions transition height is the

statistical errors in hydrogen and helium ions fractions. Methodical errors are small as compared with statistical ones. Standard deviation of the measured light ions transition height doesn't exceed 20 km when one use 15 ACFs of IS signal averaged over the interval of 15 min.

Key words: incoherent scatter radar, light ions transition height, simulation, errors.

Methods of forming a group of broadband signal in the time and frequency domain / V.A. Krulova // Bulletin of NTU "KhPI". Series: Automatics and instrument making. – Kharkiv : NTU "KhPI", 2015. – No 29 (1138). – P. 33–37. – Bibliogr.: 5– ISSN 2079-083x.

The methods of synthesis signals with artificially spread spectrum based broadband signal group. It is shown that for a signal from the expanded base is necessary to use a digital comb filter, the parameters of which the transmitting and receiving side match. The ways and means of error-protection enhancement and effective use of time-frequency channel resource by using the universal software and hardware for error-protection are shown. The paper presents the technology of synthesis of signal-code structures on the basis of a system of signals with a comb spectrum and adaptive coding. A method of forming signals with artificially created comb spectra that belong to a class of broadband signals is presented, which allows more efficient use of transmission systems time-frequency resource by eliminating the guard intervals between the individual channels. The creation of such devices can improve the accuracy and speed of information transmission, with codec minimal redundancy, as well as efficient use of the frequency resource channel.

Keywords: adaptive system, interval of supervision, communication channel, probability of bit error, computer systems and networks, information security system, adaptive coding, broadband signals, signal-code construction, the comb filter.

Autonomous analysis system of the central nervous system / T.G. Mashhenko, O.S. Somhieva, M.V. Dovgal // Bulletin of NTU "KhPI". Series: Automatics and instrument making. – Kharkiv : NTU "KhPI", 2015. – No 29 (1138). – P.38–42. Bibliogr.: 3. – ISSN 2079-083x.

This article presents a system prototype, which is designed to analyze the activity of the central nervous system (CNS). The main purpose of this system is the collection, interpretation and presentation to the end-user processing results obtained in EEG research data. With this system it is possible to investigate the action potentials of the brain to diagnose various diseases of CNS. It also describes the way to achieve minimization of expenses to the cost of the system, through the use of free software. Further use of the proposed prototype will allow to create a single medical register of our country.

Keywords: electroencephalography, diagnostic system, information processing unit, the analyzer, memory module, peripheral terminals.

Application of the method of mapping dispersion to diagnose heart disease. / T. G. Mashchenko, O. S. Somhieva, A. J. Zheleznyakova // Bulletin of NTU "KhPI". Series: Automatics and instrument making. – Kharkiv : NTU "KhPI", 2015. – No 29 (1138). – P.43 – 48. – Bibliogr.: 6. – ISSN 2079-083x.

The article discusses the use of the method of dispersion mapping to assess the state of the cardiovascular system of the person. Many of the diseases in this area in the early stages occur almost asymptomatic, but the method of dispersion mapping allows you to diagnose a variety of heart disease in the early stages of their occurrence in the pre-hospital monitoring, as well as to carry out timely treatment of these diseases, especially coronary heart disease. ECG dispersion charting method - a new and promising technology in modern cardiology based on monitoring of low-amplitude vibrations of the ECG - signal. This low-amplitude vibrations contains enough informative components for possible violations in the heart muscle, as time changes precede directly ECG.

Keywords: Electrocardiogram, ECG - signal dispersion mapping, low-amplitude vibrations.

Prospects of further improvement of the International system of units of SI // U. F. Pavlenko, E. V. Golikova // Bulletin of NTU "KhPI". Series: Automatics and instrument making. – Kharkiv : NTU "KhPI", 2015. – No 29 (1138). – P. 49 – 54. – Bibliogr.: 4. – ISSN 2079-083x.

Prospects of further improvement of the International system of units, the project of redefinition of ampere, kelvin are given in article, asking, kilogram, second, meter, candela through FFS. Accep-

tance of new definitions to a number of new main units will become a revolutionary step in respect of further improvement of the international system of units. Consequences of redefinition of the main units on further development quantum metrologists are considered. The most important consequences of redefinition will become: elimination of the last artifact – a prototype of kilogram and transition to its natural definition, creation of a natural standard of kilogram; elimination of dualism in definitions of electric units; specifications of values of a number of FFS that is essential to physics and science in general; creation of conditions for transition to natural system of units.

Keywords: unit, SI system, redefinition, standard, FFS, kilogram, ampere, kelvin, mol, dualism, artifact.

Spiral S – matrix and growth of crystals / V. S. Suzdal // Bulletin of NTU "KhPI". Series: Automatics and instrument making. – Kharkiv: NTU "KhPI", 2015. – No 29 (1138). – P.55 –61. – Bibliogr.: 6. – ISSN 2079-083x.

The spiraling mechanism of the crystal growth by the helical spiral, in the assumption by the presence in a crystalline nucleus the non vanishing dislocation the step, is reviewed. Matrix model of a single-pass dislocation spiral the type of Archimedean on the edge of the crystal growth, in the form of a spiral S-matrix is proposed. The concept of q – kind the spiral is introduced and the practical importance of the S-matrix for growing large crystals on the spiral with large q is shown. The practical significance of the S-matrix is defined by the fact that the surface phenomena at the macro and micro levels of crystal growth are of considerable interest from the point of view of the development of nanotechnologies and other branches of science.

Keywords: crystal, growth, mechanism, spiral, model, S-matrix.

About choosing the location coordinates of access points in a wi-fi network / A. V. Shostak, Y. I. Doroshenko // Bulletin of NTU "KhPI". Series Series: Automatics and instrument making. – Kharkiv : NTU "KhPI", 2015. – No 29 (1138). – P.68 –75. – Bibliogr.: 3. – ISSN 2079-083x.

There have been analyzed two different approaches to optimize the relative position of two access points in a Wi-Fi network to maximize the total data rate of the two groups of abonents by selecting the coordinates of two points of access. There have been solved the problem of partitioning n abonents into two equal part (to within 1). Proposed two ways of its implementation: – the rectangle formed by the minimum and maximum coordinates of abonents is divided into two parts, equal to the number of abonents in each part; – partitioning n abonents into two approximately equal parts abonents n nodes of an undirected graph is constructed Hamiltonian cycle of minimum length.

Keywords: Wi-Fi network, access point, optimization of the location.

Synthesis of the integrated mathematical model and structure of converters of regime parameters of electrical power object / O. V. Shutenko, A. N. Borisenko, A.B. Bogayevsky, S. A. Litvinenko, D. M. Badalova // Bulletin of NTU "KhPI". Series: Automatics and instrument making. – Kharkiv : NTU "KhPI", 2015. – No 29 (1138). – P.68 –73. – Bibliogr.: 9. – ISSN 2079-083x.

Article is devoted to creation of the generalized structure and creation of mathematical models of converters of parameters of the movement of body which doses fuel and speeds of rotation of a turbocompressor the diesel – generating installation with pressurization in the mass of the additional air given to the diesel at increase in loading. In the transitional operating modes caused by increase in loading, the turbocompressor owing to the inertialnost doesn't manage to increase fully supply of nadduvochny air and working process of the diesel proceeds unsatisfactorily. On the basis of the developed mathematical models the generalized structure of the converter providing additional airtsupply of the diesel generator at increase in loading is synthesized.

Keywords: mathematical model, diesel, valve, engine.

ЗМІСТ

<i>Григоренко І.В., Белєвцова А.С., Харченко О.В.</i> Дослідження динамічних та температурних похибок лазерної системи при тестовому контролі.....	3
<i>Давиденко О.П., Безус О.О.</i> Безпроводна система моніторингу напружено-деформованого стану будівель та споруд	8
<i>Давиденко О.П., Мішина С.В.</i> Аналіз фонокардіографічних даних за допомогою вейвлет-перетворень	11
<i>Качанов П.А., Зуєв А.А., Яценко К.Н.</i> Блок усилення біопотенціалів мозгу оператора тренажерного комплексу	18
<i>Кондрашов С.І., Мигущенко Р.П., Опришкіна М.І., Мацак О.В.</i> Система тестового контролю метрологічних характеристик технологічного процесу	23
<i>Котов Д.В., Богомаз А.В.</i> Погрешности определения высоты перехода к лёгким ионам при исследовании ионосферы методом некогерентного рассеяния.....	28
<i>Крылова В.А.</i> Методи формування групового широкополосного сигналу в часовій та частотній області	33
<i>Мащенко Т.Г., Сомхіїва О.С., Довгаль М.В.</i> Автономна система аналізу діяльності центральної нервової системи	38
<i>Мащенко Т.Г., Сомхіїва О.С., Железнякова А.Ю.</i> Застосування методу дисперсійного картування для діагностики захворювань серця.	43
<i>Павленко Ю.Ф., Голікова К.В.</i> Перспективи подальшого вдосконалення Міжнародної системи одиниць SI.....	49
<i>Суздаль В.С.</i> Спиральна S – матриця та зростання кристала.....	55
<i>Шостак А.В., Дорошенко Ю.И.</i> Про вибір координат розміщення точок доступу в wi-fi мережі	62
<i>Шутенко О.В., Борисенко А. Н., Богаєвський А.Б., Литвиненко С.А., Бадалова Д.М.</i> Синтез об'єднаної математичної моделі та структури перетворювачів режимних параметрів електроенергетичного об'єкта	68
Реферати.....	74
Рефераты	77
Abstracts	80

НАУКОВЕ ВИДАННЯ

**ВІСНИК
НАЦІОНАЛЬНОГО ТЕХНІЧНОГО УНІВЕРСИТЕТУ
«ХПІ»**

Збірник наукових праць

Серія:
Автоматика та приладобудування

№ 29 (1138)

Наукові редактори: проф. П. О. Качанов
Технічний редактор: ас. О. В. Сосіна

Відповідальний за випуск канд. техн. наук Г. Б. Обухова

АДРЕСА РЕДКОЛЕГІЇ: 61002 Харків, вул. Фрунзе, 21, НТУ «ХПІ».
Кафедра теоретичних основ електротехніки.
Тел.: (057) 707-69-61; e-mail: elenasosina09@gmail.com

Обл.-вид № 89–12.

Підп. до друку 29.12.2014 р. Формат 60×84 1/16. Папір Copy Paper.
Друк ризографія. Гарнітура Таймс. Умов. друк. арк. 8,4. Облік.-вид. арк. 7,7.
Тираж 300 пр. Зам. № 23. Ціна договірна.

НТУ «ХПІ», 61002, Харків, вил Фрунзе, 21

Надруковано в друкарні КП “Міська друкарня”
Свідоцтво про реєстрацію № 3613 серія ДК від 29.10.2009 р.
м. Харків, вул. Артема, 44 тел. (057)700-48-37
