

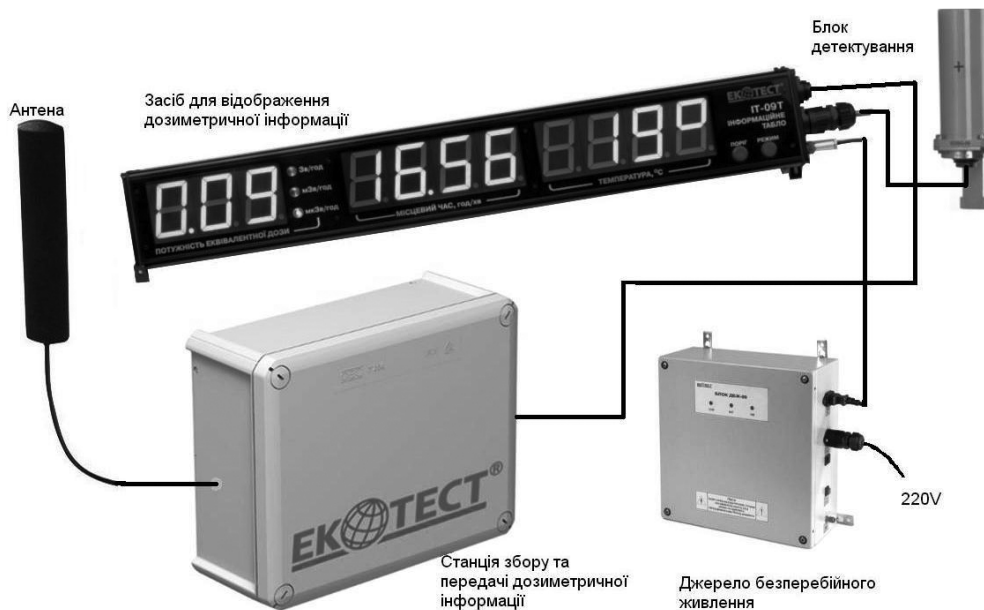


Рис. 1. Автоматизована система для цілодобового безперервного моніторингу радіаційного фону для одного об'єкту (Модель системи контролю радіаційної обстановки ГЦСК)

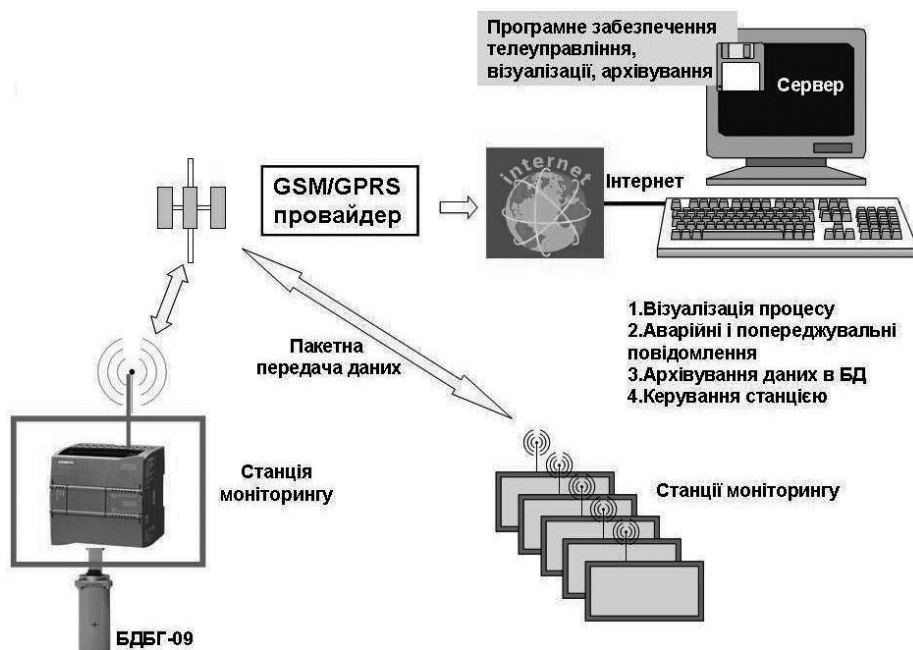


Рис. 2. Автоматизована система для цілодобового безперервного моніторингу радіаційного фону для декількох об'єктів

Інтернету і мати встановлене відповідне програмне забезпечення. Обмін даними між верхнім і нижнім рівнем здійснюється способом пакетної передачі даних GPRS по радіоканалу мобільного оператора.

Функціонує на IBM-сумісних персональних комп'ютерах із встановленою операційною системою Windows 7 Professional. Склад системи: блоки детектування гамма-випромінювання БДБГ-09, до 3 блоків БДБГ-09 на один модуль станції;

модулі станції збору, обробки і передачі дозиметричної інформації в залежності до конфігурації;

спеціалізоване програмне забезпечення для

сервера;

персональний комп'ютер з встановленою операційною системою Windows 7 Professional, або вище.

Висновки: В результаті роботи підготовлена технічна пропозиція по створенню моделі системи контролю радіаційної обстановки ГЦСК за допомогою обладнання радіаційного контролю національного виробництва, що відповідає сучасним вимогам, які пред'являються до систем радіаційно-екологічного моніторингу.

Реалізація роботи по створенню запропонованої моделі дозволить виконувати всі необхідні функції контролю, що виконуються

старою системою, так і велику кількість інших, з більшою надійністю, точністю, інформативністю, оперативністю, а саме:

здійснювати автоматизований контроль радіаційної обстановки в пунктах дислокації об'єктів спеціального контролю;

збирати, відображати та зберігати інформацію у вигляді баз даних про виміряні радіаційні, метеорологічні та інші параметри з можливістю їх відтворення, повторного деталізованого аналізу;

контролювати зміну параметрів контролю, відхилення від встановлених контрольних рівнів та прогнозувати РО (при наявності спеціального ПЗ) при погодних та техногенних аномаліях в пунктах спостереження;

підвищити якість та достовірність отримуваної інформації про радіаційний стан в пунктах дислокації об'єктів спеціального контролю;

контролювати метеорологічні параметри;

управляти роботою аспіраційних установок на стаціонарних постах системи, об'ємом прокачаного повітря через фільтр та цілісності фільтру;

нарошувати кількість пунктів та параметрів контролю;

видавати вихідні дані для моделювання розвитку радіаційної обстановки в зоні контролю і за її межами для попередження радіоактивного опромінення персоналу;

оперативно використовувати отриману інформацію для ухвалення управлінських рішень в разі нештатних ситуацій;

негайно сигналізувати про значимі зміни радіаційної обстановки оператора ОЧЗ та уповноважені органи;

інформувати по підлеглості, урядові органи та населення про радіаційну обстановку на територіях контролю;

взаємодію та обмін даними спостережень між різними об'єктовими системами АСКРО, а подальшому суб'єктами ЄАСКРО.

Модернізація системи передбачається відповідно до діючих українських норм і стандартів.

Все устаткування, запропоноване в цій роботі, нове і здатне працювати в умовах розміщення об'єктів спеціального контролю, враховуючи складності з інфраструктурою, кліматичні особливості і тому подібне.

Список літератури:

1. Указ Президента України від 12 травня 2011 № 585 «Про уведення в дію рішення Ради національної безпеки і оборони України від 8 квітня 2011 року «Про підвищення безпеки експлуатації атомних електростанцій України».
2. Розпорядження КМУ від 25 січня 2012 р. № 44-р «Про затвердження плану заходів щодо створення Єдиної автоматизованої системи контролю радіаційної обстановки на період до 2015 року».
3. Постанова від 28 червня 1997 року № 699 «Про затвердження Положення про національну систему сейсмічних спостережень та підвищення безпеки проживання населення у сейсмонезбезпечних регіонах».
4. Державні гігієнічні нормативи України. ДГН 6.6.1.-6.5.001-98. Норми радіаційної безпеки України (НРБУ-97): [Затвердж. наказом МОЗ України від 14.07.97 № 208 і введ. в дію з 01.01.1998 Постановою Головного державного санітарного лікаря України від 01.12.97 № 62]. - К: Відділ поліграфії Укр. центру Держсанепідемнагляду МОЗ України. - 1997. - 125 с.
5. Засоби радіаційного контролю торгової марки «ЕКОТЕСТ», Приватне підприємство «Науково-виробниче приватне підприємство «Спаринг-Віст Центр» [Електронний ресурс]. - Режим доступу: <http://ecotest.ua/>.
6. Корпорація «Українські атомні прилади та системи». [Електронний ресурс]. - Режим доступу: <http://www.uap.kiev.ua/>.
7. Настанова щодо експлуатування ВІСТ.418266.006 HE. – 48 с.
8. Настанова щодо експлуатування ВІСТ.468382.019-01 HE. – 24 с.

References:

1. Decree of the President of Ukraine dated May 12, 2011 № 585 "On the enactment of the decision of the National Security and Defense Council of Ukraine dated April 8, 2011" On enhancing the safety of the operation of nuclear power plants in Ukraine".
2. Resolution of Cabinet of Ministry of Ukraine № 44-r dated January 25, 2012 "On Approval of the Action Plan for the Establishment of a Unified Automated Radiation Control System for the period until 2015".
3. Resolution dated June 28, 1997, № 699 "On Approval of the Regulations on the National System for Seismic Surveillance and Enhancing the Safety of Population Accommodation in Seismic-Safe Regions".
4. State Hygiene Norms of Ukraine. SHN 6.6.1.-6.5.001-98. Norms of radiation safety of Ukraine (NRBU-97): [Approved by Order of the Ministry of Health of Ukraine dated July 14, 1997 № 208 and entry in force since 01.01.1998 by the Resolution of the Chief State Sanitary Doctor of Ukraine of December 01, 1997 № 62]. - Department of Polygraphy Ukr. Center of the State Sanitary and Epidemiological Inspection of the Ministry of Health of Ukraine. - 1997. - 125 p.
5. Means of radiation control of Trademark "ECOTEST", Private Enterprise "Research and Production Private Enterprise" Sparing-Vist Center "[Electronic resource]. - Mode of access: <http://ecotest.ua/>.
6. Corporation "Ukrainian Atomic Instruments and Systems". [Electronic resource]. - Access mode: <http://www.uap.kiev.ua/>.
7. Instruction on exploitation ВІСТ.418266.006 HE. - 48 p.
8. Instruction on exploitation ВІСТ.468382.019-01 HE. - 24 p.

СОЗДАНИЕ МОДЕЛИ СИСТЕМЫ КОНТРОЛЯ РАДИАЦИОННОЙ ОБСТАНОВКИ ГЦСК

Сытник В.Г.

Для построения автоматизированной системы контроля радиационной обстановки (АСКРО) в пунктах дислокации объектов специального контроля и эффективной интеграции в Единую АСКРО, подготовлено техническое предложение по созданию модели АСКРО ГЦСК с помощью средств радиационного контроля отечественного производства, отвечающего современным требованиям, предъявляемым к системам радиационно-экологического мониторинга.

В публикации, предоставлена краткая характеристика состояния существующей системы, ее структура и недостатки. Раскрыты причины необходимости создания АСКРО в пунктах дислокации объектов специального контроля. Определена цель и основные функции АСКРО ГЦСК. Представлены предложения по составу, структуре, описания и характеристик АСКРО. Приведенный перечень и описание составных частей системы, которые планируется для ее создания.

Реализация данного предложения позволит выполнять все необходимые функции контроля, которые выполняются старой системой, так и большое количество других, с большей надежностью, точностью, информативностью и оперативностью. Созданная АСКРО обеспечит документирование, хранение, качественную и быструю обработку результатов контроля для выполнения задач высокотехнологичного автоматического мониторинга, при необходимости позволит свободно наращивать точки контроля, легко адаптироваться к имеющимся и проектируемым систем, дополняться новыми параметрами контроля.

Ключевые слова: радиоактивное загрязнение, уровень гамма-излучения, мощность дозы излучения, радиационный мониторинг.

CREATION OF A MODEL FOR THE RADIATION MONITORING SYSTEM OF THE MSCC

V.G. Sytnik

For developing automated radiation monitoring system (ARMS) in the locations of special monitoring sites and effective integration into the Unified ARMS, a technical proposal was prepared for the creation of the ARMS model of the MSCC by facilities of national radiation monitoring equipment that meet modern requirements for radiation monitoring systems.

The publication provides a brief description of the state of the existing system, its structure and shortcomings. The reasons for the need to create ARMS in the locations of special monitoring sites are disclosed. The goal and the main functions of MCSM ARMS were determined. Proposals on the structure, description and characteristics of ARMS were presented. The list and description of the components of the system that are planned to be created was provided.

The implementation of this proposal will allow to perform all the necessary monitoring functions that are performed by the old system, as well as a large number of others, with greater reliability, accuracy, informational value and speed. Developed ARMS will provide documenting, storage, high-quality and fast processing of monitoring results for the tasks of high-tech automatic monitoring, if necessary, allow free expansion of monitoring sites, easily adapt to existing and projected systems, and be supplemented with new control parameters.

Keywords: radioactive contamination, gamma radiation level, radiation dose rate, radiation monitoring.

СИСТЕМИ НАВІГАЦІЇ, ТЕЛЕКОМУНІКАЦІЙ ТА ДИСТАНЦІЙНОГО ЗОНДУВАННЯ ЗЕМЛІ

УДК 621.375

Г.В. Альошин¹, О.В. Коломійцев², Д.В. Карлов²¹ Українська державна академія залізничного транспорту, Україна, Харків² Харківський національний університет Повітряних Сил імені Івана Кожедуба, Україна, Харків

ШЛЯХИ ЗБІЛЬШЕННЯ ОБ'ЄМІВ ПЕРЕДАЧІ ІНФОРМАЦІЇ В СИСТЕМАХ СУПУТНИКОВОГО КОСМІЧНОГО ЛАЗЕРНОГО ЗВ'ЯЗКУ

Запропоновано для системи супутникового космічного лазерного зв'язку використання подовжніх мод (несучих частот) єдиного лазера-передавача. Селекція подовжніх мод зі спектру одномодового багаточастотного з синхронізацією подовжніх мод лазерного випромінювання (ЛВ) дозволить створити багатоканалний взаємозв'язок між супутниками і тощо. Запропонована блок-схема селектору подовжніх мод (СПМ). Розкрита сутність роботи СПМ. Отримані аналітичні вирази для розрахунку інтенсивності ЛВ з виходів інформаційних каналів СПМ.

Ключові слова: система супутникового (космічного) лазерного зв'язку, інформація, лазерне випромінювання, селектор подовжніх мод

Вступ. Супутники першого покоління для обміну даними використовували радіо хвилі. Їх можливості були обмежені. Проте, час йде і сучасні технології зробили крок далеко уперед. Супутниковий зв'язок розвивається і останні досягнення в цій області говорять про величезний потенціал в розширенні пропускної спроможності каналів передачі інформації.

Двосторонній супутниковий інтернет, телефонія, корпоративна супутникова мережа, мобільний супутниковий зв'язок, відео-конференц-зв'язок, аудіо-конференц-зв'язок, передача даних різного об'єму, супутникові канали зв'язку – ось не повний список можливостей супутникового зв'язку. Показник даних в стократ підвищений за рахунок використання сучасних лазерних джерел випромінювання. Створення лазера дозволило вирішити широке коло завдань, які сприяли значному розвитку науки і техніки. Це дозволило отримати такі розробки як: волоконно-оптичні лінії зв'язку, лазерне наведення і цілевказівку, а також лазерний зв'язок.

Постановка проблеми. Одним з перспективних напрямів розвитку систем супутникового космічного зв'язку, є системи, що засновані на передачі інформації по лазерному каналу, оскільки ці системи можуть забезпечити велику пропускну спроможність, при меншому енергоспоживанні, габаритних розмірах і масі приймально-передавальної апаратури, чим системи радіозв'язку (супутники першого покоління), що використовуються в даний момент.

Потенційно системи космічного лазерного зв'язку можуть забезпечувати високу швидкість передачі інформації (інформаційного потоку) – від 10-100 Мбіт/с до 1-10 Гбіт/с і вище. Експерименти по реалізації систем лазерного зв'язку для передачі великих масивів інформації ведуть усі високо-технічно розвинені країни світу.

Таким чином, збільшення об'ємів передачі

інформації в системах супутникового (космічного) лазерного зв'язку є актуальною науково-технічною задачею.

Аналіз літератури. Аналіз існуючих робіт [1] та результатів експериментальних даних [2] тощо, які присвячені також питанням створення систем супутникового космічного лазерного зв'язку та оптичних систем зв'язку з частотним ущільненням каналів показує, що можливе з'єднання несучих для системи з частотним ущільненням каналів, але неможливе виділення несучих частот (подовжніх мод) для формування інформаційних каналів.

Мета статті. Розробка шляхів збільшення об'ємів передачі інформації в системах супутникового космічного лазерного зв'язку та пропозиції щодо використання селекції подовжніх мод єдиного лазера-передавача для створення багатоканалного взаємозв'язку між супутниками і тощо.

Основний матеріал. Сучасні міжсупутникові лазерні системи зв'язку дозволяють передавати інформацію зі швидкістю до 600 Мбіт/с і дальністю дії від 1 до 6 тис. км (лінії низькоорбітальний космічний апарат (КА) – НКА) від 30 до 46 тис. км (лінії НКА – геостационарний КА). Приклад такої системи Росії представлений на рисунку 1.

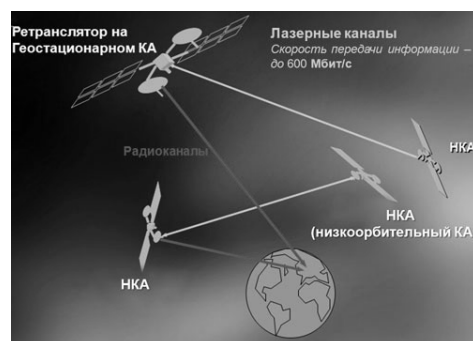


Рис. 1. – Система супутникового зв'язку

Американське космічне агентство NASA розгорнуло лазерну систему OPALS (Optical Payload for Lasercomm Science), яка є експериментальним майданчиком для розробки технологій лазерних космічних комунікацій (зв'язку), що забезпечує обмін великими об'ємами інформації. Технологія космічного лазерного зв'язку (LLCD) вже, у 2017 році, показала дуже високу ефективність передачі даних на відстані близько 400 тис. км. Система LLCD здатна працювати краще за звичайні радіопередавачі і забезпечити передачу даних на Землю із швидкістю 622 Мб/с та отримувати із швидкістю 20 Мб/с (рис. 2).

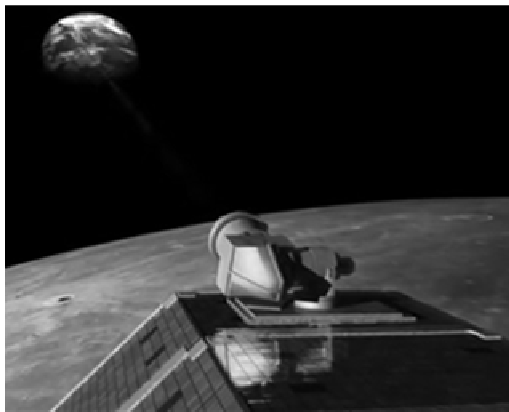


Рис. 2. – Система космічного лазерного зв'язку

Крім того, LLCD здатна перемикається від однієї наземної станції до іншої, фіксуючись на певній станції без необхідності використання радіосигналу.

Європейська система передачі даних European Data Relay System (EDRS) – угруповання сучасних геостационарних супутників (у кількості 3-х), які здійснюватимуть передачу інформації між супутниками, КА, безпілотними літальними апаратами і наземними станціями, які забезпечують швидшу в порівнянні з традиційними методами передачі даних швидкість, навіть в умовах природних і техногенних катастроф. EDRS використовує нову технологію лазерного зв'язку Laser Communication Terminal (LCT).

Лазерний термінал дозволяє передавати інформацію із швидкістю 1,8 Гбіт/с. Технологія LCT надає можливість супутникам системи EDRS передавати і отримувати близько 50 терабайт даних в день практично у режимі реального часу (рис. 3).

До переваг лазерного зв'язку, в порівнянні з радіозв'язком, можливо віднести наступні:

- передача інформації на великі відстані;
- висока швидкість передачі інформації;
- компактність і легкість пристроїв для передачі інформації (даних);
- енергоефективність.

До недоліків лазерного зв'язку можливо віднести наступні:

- необхідність точного наведення приймальних і передавальних пристроїв;
- атмосферні проблеми (хмарність, пил, турбулентність і тощо).

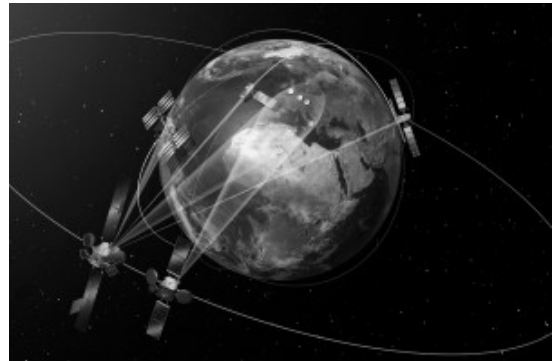


Рис. 3. – Система European Data Relay System

Отже, лазерний зв'язок дозволяє передавати дані на набагато більші відносно радіозв'язку відстані, швидкість передачі завдяки високій концентрації енергії і набагато більш високій несучій частоті (на порядки) також вище. Енергоефективність, низька вага і компактність також на порядки краще.

Ускладнення у вигляді необхідності точного наведення приймальних і передавальних пристроїв можна вирішити сучасними технічними засобами. Крім того, приймальні наземні пристрої можна розташовувати в районах Землі, де кількість хмарних днів мінімальна.

Як відомо, безпроводний лазерний зв'язок – це вид оптичного зв'язку, що використовує електромагнітні хвилі оптичного діапазону (світло), що передаються через вакуум (атмосферу).

Лазерний зв'язок двох об'єктів здійснюється тільки за допомогою з'єднання типу «точка-точка». Технологія ґрунтується на передачі даних модульованим випромінюванням в інфрачервоній частині спектру через вакуум (атмосферу).

Передавачем служить потужний лазер-передавач. Інформація поступає у приймально-передавальний модуль, в якому кодується різними завадостійкими кодами, модулюються оптичним лазерним випромінювачем і фокусується оптичною системою передавача у вузьке колімоване ЛВ і передається у вакуум (атмосферу).

На приймаючій стороні оптична система фокусує оптичний сигнал на високочутливий фотодіод (лавинний фотодіод), який перетворює оптичний пучок в електричний сигнал. При цьому чим вище частота (до 1,5 ГГц), тим більше об'єм інформації, що передається. Далі сигнал демодулюється і перетворюється у сигнали вихідного інтерфейсу.

Довжина хвилі варіюється у межах 700-950 нм (1550 нм), залежно від лазерного діода, що використовується.

Отже, ключовими елементами для здійснення

лазерного зв'язку є лазер-передавач та високочутливий фотодіод (лавинний фотодіод).

Однак, при цьому не звертається увага на багаточастотність спектру ЛВ. Тому, одним з шляхів вирішення задачі збільшення об'ємів передачі інформації в системах супутникового космічного лазерного зв'язку є частотна селекція «інформаційних» каналів ЛВ. Спектр одномодового багаточастотного лазера-передавача має набір подовжніх мод (частот). Причому, рознесення цих частот на відстані міжмодових биттів, достатньо велике для їх селекції.

Зі спектру такого ЛВ за допомогою селектора подовжніх мод [2] можливо виділити необхідні подовжні моди (несучі частоти), які відповідають кожному з «інформаційних» каналів (рис. 4).

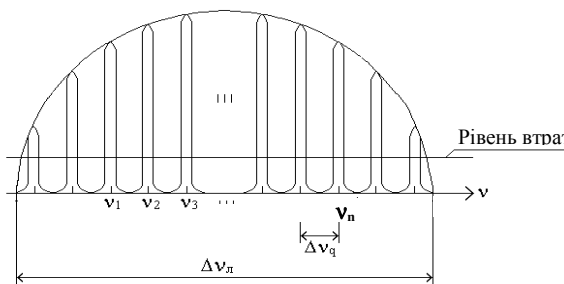


Рис. 4. – Спектр одномодового багаточастотного із синхронізацією подовжніх мод ЛВ

При цьому розширюються можливості системи зв'язку для будь-якої модуляції інформаційного каналу модуляцією подовжньої моди. Причому набір несучих частот береться з того ж єдиного лазера-передавача.

Лазерні сигнали N інформаційних каналів для зв'язку з КА (супутниками) використовують окремі несучі частоти (подовжні моди). При цьому, частотна розв'язка повинна задовольняти необхідну якість.

Відомо, що багаточастотна генерація подовжніх мод з спектральною шириною, близькою до дійсної ширини емісійної лінії цього лазерного переходу, найбільш зручна для синхронізації мод, оскільки ефективність такого режиму зростає із збільшенням числа N генерованих подовжніх мод. Тому дослідження особливостей синхронізації подовжніх мод корисно проводити за результатами напівкласичної теорії Лемба [4].

У запропонованій Лембом теоретичної моделі багаточастотного лазера електричне поле у резонаторі, що описується у рамках класичної теорії електромагнітного поля, викликає появу макроскопічної поляризації активного середовища, що обчислюється на основі квантово-механічних представлень.

Цей факт, з урахуванням відомих рівнянь Максвелла, дозволяє отримати замкнуту систему рівнянь для амплітуд, частот і фаз, генерованих

оптичних коливань. Напівкласична теорія дозволяє розглянути такі явища, як: затягування, насичення, відхід і конкуренцію мод, а також синхронізацію подовжніх мод.

Аналітичні вирази для розрахунку електричного поля $E(t)$ кожної моди, що знаходиться у спектрі такого ЛВ можливо отримати з відомого [4]:

$$E_n(t) = A_n(1 + \delta \cos \Delta v' t) \cos v_n t + \varphi_n \quad (1)$$

де A_n – амплітуда n -ої моди; δ – глибина модуляції; φ_n – фаза n -ої моди; v_n – частота n -ої моди; $\Delta v'$ – частота міжмодових биттів; t – час.

Таким чином, для подовжніх мод, які будуть виділені СПМ, маємо:

$$\begin{aligned} E_2(t) &= A_2(1 + \delta \cos \Delta v' t) \cos v_2 t + \varphi_2 \\ E_3(t) &= A_3(1 + \delta \cos \Delta v' t) \cos v_3 t + \varphi_3 \\ E_4(t) &= A_4(1 + \delta \cos \Delta v' t) \cos v_4 t + \varphi_4 \end{aligned} \quad (2)$$

Враховуємо, що у вираз (2) входять складові:

$$\begin{aligned} A_n \delta \cos \Delta v' t \cos(v_n t + \varphi_n) &= \\ = \left(\frac{A_n \delta}{2} \right) \left\{ \cos[(v_n + \Delta v') + \varphi_n] + \right. & \quad (3) \\ \left. + \cos[(v_n - \Delta v') + \varphi_n] \right\} \end{aligned}$$

тоді, для подовжніх мод, що виділяються СПМ, буде справедливо записати наступне:

$$\begin{aligned} A_2 \delta \cos \Delta v' t \cos(v_2 t + \varphi_2) &= \\ = \left(\frac{A_2 \delta}{2} \right) \left\{ \cos[(v_2 + \Delta v') + \varphi_2] + \right. & \\ \left. + \cos[(v_2 - \Delta v') + \varphi_2] \right\} & \\ A_3 \delta \cos \Delta v' t \cos(v_3 t + \varphi_3) &= \\ = \left(\frac{A_3 \delta}{2} \right) \left\{ \cos[(v_3 + \Delta v') + \varphi_3] + \right. & \quad (4) \\ \left. + \cos[(v_3 - \Delta v') + \varphi_3] \right\} & \\ A_4 \delta \cos \Delta v' t \cos(v_4 t + \varphi_4) &= \\ = \left(\frac{A_4 \delta}{2} \right) \left\{ \cos[(v_4 + \Delta v') + \varphi_4] + \right. & \\ \left. + \cos[(v_4 - \Delta v') + \varphi_4] \right\} & \end{aligned}$$

Аналітичні вирази для розрахунку інтенсивності ЛВ з виходів кожного з каналів СПМ можливо записати у наступному вигляді [5]:

$$I_{i+4,i} \approx T_0 * (1 - T_0 J(\gamma_{i+3,i})) * \dots * (1 - T_0 J(\gamma_{4,i})) * \\ * (1 - T_0 J(\gamma_{3,i})) * (1 - T_0 J(\gamma_{2,i})) * (1 - T_0 J(\gamma_{1,i})) \quad (5)$$

де i – номер каналу СПМ; $i=4$ – номер подовжньої моди, яка виділяється (випромінюється) каналом

СПМ; $T_0 = \left(\frac{1 - R_{\text{eid}} - \varepsilon}{1 - R_{\text{eid}}} \right)^2$ – абсолютне значення максимуму пропускання (при різниці оптичного ходу кратної половині λ); $R_{\text{eid}} = \sqrt{r_1 r_2}$; r_1, r_2 –

коефіцієнти відбиття кожного з дзеркал ІФП;

$$\gamma = \frac{2t}{\lambda} - E\left(\frac{2t}{\lambda}\right) - \text{долі порядку інтерференції};$$

$\gamma = E\left(\frac{2t}{\lambda}\right)$ – символ цілої частини; $2t$ – оптична різниця ходу;

З виразу (5) зрозуміло, що інтенсивність відселектованих СПМ подовжніх мод істотно зменшується у кожному подальшому каналі, накладаючись на початкову нерівномірність спектральних складових ЛВ. Подальше підсилення відселектованих спектральних складових оптичним квантовим підсилювачем (ОКП) в кожному окремому каналі СПМ дозволить усунути цю нерівномірність, а також забезпечити необхідну потужність ЛВ залежно від призначення і тактико-технічних характеристик системи зв'язку.

За результатами проведених теоретичних досліджень розроблена блок-схема СПМ, яка наведена на рисунку 5.

СПМ складається із N каналів, кожен з яких містить: оптичний поляризатор (Оп) випромінювання, пасивну фазову пластинку $\lambda/4$, що повертає вектор Е ЛВ на кут 45° за один прохід скрізь неї, вузькосмуговий інтерферометр Фабрі-Перо (ІФП), що настроєний на прохід визначеної подовжньої моди (несучої частоти), оптичний квантовий підсилювач для підсилення вихідного ЛВ та допоміжні дзеркала для каналізації ЛВ з каналу в канал.

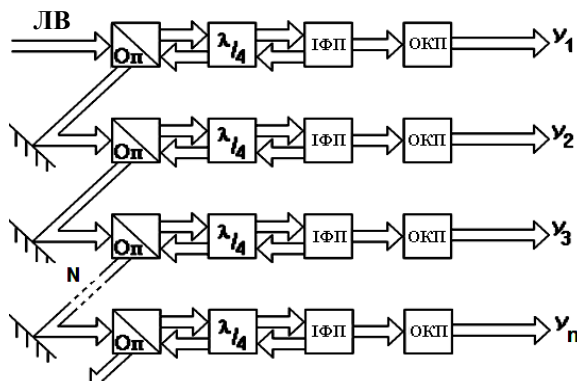


Рис. 5. – Селектор подовжніх мод

Принцип роботи СПМ полягає у наступному.

На вхід СПМ надходить одномодове багаточастотне із синхронізацією подовжніх мод ЛВ від лазера-передавача.

Груповий сигнал, що складений з подовжніх мод (несучих частот) проходить через Оп випромінювання і пасивну фазову пластинку $\lambda/4$, що повертає вектор Е минаючого ЛВ на кут 45° за один прохід. Надходить на вузькосмуговий ІФП, що пропускає першу несучу частоту ν_1 , яка підсилюється ОКП. Таким чином здійснюється

виділення першої подовжньої моди (частоти ν_1), яка необхідна для формування першого інформаційного каналу.

Частина групового сигналу, що залишилась, відбивається дзеркалом вузькосмугового ІФП, повертається та повертається фазовою пластинкою ще на кут 45° . Виходить через бічну грань Оп випромінювання та направляються допоміжним дзеркалом у другий (наступний) канал. У цьому каналі відбувається виділення другої подовжньої моди таким же чином, як і для ν_1 . Для останніх N каналів відбувається виділення необхідних подовжніх мод (частот ν_n) таким же чином, як і для першого каналу. Таким чином здійснюється виділення необхідних подовжніх мод (несучих частот) зі спектру випромінювання єдиного лазера-передавача для подальшого формування N інформаційних каналів. Частина ЛВ, що залишилась після виділення необхідних подовжніх мод (несучих частот) через допоміжне дзеркало направляється у «ловушку». Кількість каналів СПМ залежить від того скільки знаходиться несучих частот вище рівня втрат у спектрі ЛВ (рис. 4).

Втратами ЛВ в оптичних елементах кожного каналу СПМ можна нехтувати [4]. Для інформаційних каналів системи зв'язку проблеми електромагнітної сумісності не існує, тому що смуги каналів після багатократного перетворення несучої (міжмодової) частоти дуже малі.

Недоліком виділення подовжніх мод може бути те, що потужність ЛВ повинна зростати майже пропорційно числу каналів і те, що динамічний діапазон фотодіода повинен відповідати додатній потужності сигналу, в залежності від числа каналів.

Висновки. Таким чином, найважливіші переваги лазерів над радіопередавачами полягають у тому, що вони пропонують набагато більш високу пропускну спроможність і, крім того, можливість передавати інформацію короткочасними імпульсами, що в перспективі дозволить понизити загальні витрати споживання живлення при передачі інформації на великі відстані.

Використання селекції подовжніх мод єдиного лазера-передавача для суміщення інформаційних каналів дозволить побудувати сучасну систему супутникового космічного лазерного зв'язку.

Селектор подовжніх мод, дозволяє виділити з одномодового багаточастотного із синхронізацією подовжніх мод ЛВ необхідні подовжні моди (несучі частоти ν_n) для подальшого формування N інформаційних каналів зв'язку.

Кількість інформаційних каналів (N) залежить від кількості подовжніх мод (ν_n), які мають необхідні вихідні характеристики для використання.

Список літератури:

1. Деланж. Широкополосные оптические системы связи. Часть II. Частотное уплотнение каналов. М.: «Мир». //Труды института инженеров по электротехнике и радиоэлектронике. - Том 8. Вып. 10. - 1970. - С. 296 – 304.
2. Kudriashov V. 'Experimental Evaluation of Opportunity to Improve the Resolution of the Acoustic Maps'. In: Kountchev R. and Nakamatsu K. (eds.), *New Approaches in Intelligent Image Analysis, Intelligent Systems Reference Library 108*, pp. 353-373. Springer International Publishing Switzerland 2016. DOI: 10.1007/978-3-319-32192-9_11, SJR: 0.154
3. Патент України на корисну модель № 35477, Україна, H04 Q 1/453. Селектор подовжніх мод для багатоканальної передачі інформації / О.В. Коломійцев, Г.В. Альошин та ін. - № u200803492; заяв. 18.03.2008; опубл. 25.09.2008; Бюл. № 18. - 6 с.
4. Лэмб У. Теория оптических мазеров. "Квантовая электроника и квантовая радиофизика" / У. Лэмб, О. Богданович, О. Крохин. - М.: Мир. - 1966. - 436 с.
5. Коломійцев О.В. Приймально-передавальна частка лазерної інформаційно-вимірювальної системи з МЧЧМВ / О.В. Коломійцев, О.О. Копилов, С.І. Клівець, В.С. Кімов, Д.В. Руденко // Системи управління, навігації та зв'язку. - К.: ЦНДІ НІУ. - 2009. - Вип. 1(9). - С. 41 – 46.

References:

1. Delange. Broadband optical communication systems. Part II. Frequency division multiplexing of channels. M.: "The World". // Proceedings of the Institute of Electrical and Electronics Engineers. - Volume 8. Issue. 10. - 1970. - P. 296-304.
2. Kudriashov V. 'The Experimental Evaluation of the Opportunity to Improve the Resolution of the Acoustic Maps'. In: Kountchev R. and Nakamatsu K. (eds.), *New Approaches in Intelligent Image Analysis, Intelligent Systems Reference Library 108*, pp. 353-373. Springer International Publishing Switzerland 2016. DOI: 10.1007/978-3-319-32192-9_11, SJR: 0.154
3. The patent of Ukraine on corsna model № 35477, Ukraine, H04 Q 1/453. The selector of sub-modes for the bagatocannel gears / O.V. Kolomitsev, G.V. Al'oshin ta in. - No. u200803492; claiming. 18.03.2008; publ. 25.09.2008; Bul. №18. - 6с.
4. Lamb W. Theory of optical masers. "Quantum Electronics and Quantum Radiophysics" / U. Lamb, O. Bogdanovich, O. Krokhin. - Moscow: Mir. - 1966. - 436p.
5. Kolomitsev O.V. Priimalno-transpationary part of laser-informational-vimyryvalnoy system of MCHMMV / O.V. Kolomitsev, O.O. Kopilov, S.I. Klivets, V.S. Kimov, D.B. Rudenko // Sistemi upravleniya, navigatsii ta zv'yazku. - K.: ЦНДІ НІУ. - 2009. - Vip. 1 (9). - P. 41 - 46.

ПУТИ УВЕЛИЧЕНИЯ ОБЪЕМОВ ПЕРЕДАЧИ ИНФОРМАЦИИ В СИСТЕМАХ СПУТНИКОВОЙ КОСМИЧЕСКОЙ ЛАЗЕРНОЙ СВЯЗИ

Г.В. Альошин, О.В. Коломійцев, Д.В.Карлов.

Предложено для системы спутниковой космической лазерной связи использование продольных мод (несущих частот) единственного лазера-передатчика. Селекция продольных мод из спектра одномодового многочастотного с синхронизацией продольных мод лазерного излучения (ЛИ) позволит создать многоканальную взаимосвязь между спутниками и т.д. Предложена блок-схема селектора продольных мод (СПМ). Раскрыта суть работы СПМ. Получены аналитические выражения для расчета интенсивности ЛИ с выходов информационных каналов СПМ.

Ключевые слова: система спутниковой космической лазерной связи, информация, лазерное излучение, селектор продольных мод

WAYS OF INCREASE VOLUMES OF INFORMATION TRANSFER IN THE SATELLITE LASER COMMUNICATION NETWORKS

G.V. Aloshin, O.V. Kolomiitsev, D.V. Karlov

The use of longitudinal modes (bearing frequencies) of only laser-transmitter is offered for a satellite space laser communication network. Selection of longitudinal modes from the spectrum of one-mode multifrequency with synchronization of longitudinal frequency of laser radiation (LR) will allow creating multichannel communication between satellites et cetera. The flow-chart of selector of longitudinal frequency (SLF) is offered. Essence of work of SLF is exposed. Analytical data was received for the calculation of LR intensity from the exits of informational channels of SLF.

Keywords: satellite space laser communication network, information, laser radiation, selector of longitudinal frequency

UDC 629.7.054:681.31

Oleg Mashkov¹, Viktor Mashkov²¹State Ecology Academy of Postgraduate Education and Management²University J.E.Purkyne

ORGANIZATION OF SELF-CONTROL PROCEDURE IN FUNCTIONALLY STABLE COMPLEXES

Intermodular exchange of diagnostic information in self-diagnosis of complex technical systems with random structure of testing links is considered. Information on the structure of testing links of the system, collected in its modules as a result of intermodular exchange, is evaluated.

Key words: self-control, self-diagnosis, inter-module exchange, information, functional stability.

Introduction. We will consider complex technical systems which can be represented as an aggregate of interconnected modules capable of testing each other. It is well known that self-diagnosis of such systems based on information on mutual tests of their modules has been given the name self-diagnosis by the principle of distributed core [1]. Self-diagnosis of this kind has been investigated in sufficient detail for the case when modules test each other's technical condition according to a preset algorithm. However, organization of tests of modules according to such algorithm is a complex problem in actual practice when the system executes its jobs [2, 3]. The situation appears to be more realistic when elementary tests are performed in a random way at arbitrary instants of time, when pairs of testing and tested modules are being formed. By an elementary test (ET) is meant a test of the technical condition of an individual module of the system. In this case the structure of testing links (STL) will also be random. This means that it is impossible to determine in advance which will be the STL after the lapse of a preset diagnosis time. In this connection the problem arises of determining the time after which execution of the ET should be stopped and an analysis of the totality of results of the ET should be carried out [4]. If this time is too short, then STL of the system may prove such that it will not allow us to determine technical condition of the modules with the preset reliability, and if the time is too long, then it will result in inefficient use of modules of the system.

It can be shown that self-diagnosis with a preset reliability can be provided by the availability in testing links graph (TLG) of a system of maximum-length loops (MLL) [4]. If we take into consideration the fact that the number of performed ET is proportional to diagnosis time, then we can find a relation between the probability of formation of a MLL system in a TLG and the number of performed ETs.

Since an analysis of the totality of results of an ET will be performed by one of modules of the system, which cannot be determined in advance, it is necessary also that each module has information about MLL in the system TLG.

Hence the problem arises of relating the probability of a situation when a preset number of MLL will be formed in TLG of the system with information about it provided to each module, and the

number of performed ETs.

Estimation of Information about Maximum-Length Loops Contained in Modules of the System. After execution of an ET, the testing and the tested modules exchange information necessary to provide self-diagnosis of the system. In this case information being transmitted is subdivided into information containing results of an ET and information containing data on the STL of the system.

Only information related to STL of the system is considered in the present paper. From the point of view of practical realization of intermodular exchange, it is desirable that this information be as simple as possible, i.e. that it be restricted to the values of local degrees of nodes of TLG.

For example, let the i -th module transmit to the j -th module the value of the local degree of the i -th node of TLG α_i and the values of local degrees of all nodes linked in TLG with the j -th node by a simple oriented path (provided that they were earlier transmitted to the i -th module).

Such information allows us to single out in TLG of the system the availability of structure elements playing an important role in diagnosis of system modules. A maximum-length loop is taken as such a basic element.

Let us assume that as a result of fulfillment of the totality of an ET, a MLL is formed in TLG of the system, and let us investigate which information about it is available for the modules of the system. The MLL can be formed by several methods depending on the succession of fulfillment of an ET corresponding to edges which form this MLL. In this case information about MLL in each module also depends essentially on the order of priority in fulfillment of the ET.

Since each node in a MLL is connected by edges only with two adjacent nodes, the succession in which the following four ET are fulfilled:

$$\begin{aligned} &\tau_{i,i+1} (M_i, M_{i+1}), \tau_{i+1,i-1} (M_{i-1}, M_{i-2}) \\ &\tau_{i-1,i} (M_{i-1}, M_i), \tau_{i-2,i-1} (M_{i-2}, M_{i-1}) \end{aligned}$$

plays an important role for the module of the system which corresponds to this node. The ET correspond to edges of the graph presented in Fig. 1.

If elementary test $\tau_{i-2, i-1}$ is carried out prior to test

$\tau_{i-1, i}$, then the i -th module will receive information not only on the local degree of the node v_{i-1} corresponding to module M_{i-1} , but also on local degrees of the node v_{i-2} corresponding to module M_{i-2} , and on all nodes whose information was sent to module M_{i-2} earlier.

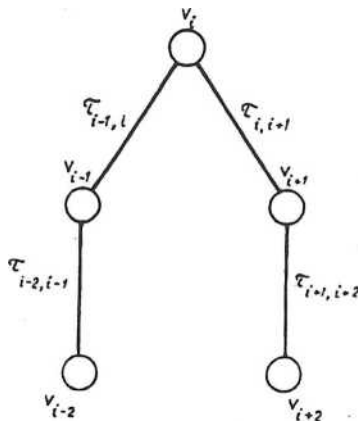


Figure 1 - Graph of testing links

Let us denote information on local degrees of nodes contained in the i -th module after fulfillment of the first ET by y_i . Then we can write

$$\begin{aligned} y_1^1 &= \tau_{1,1}^1 \alpha_1 + \tau_{1,2}^1 \alpha_2 + \dots + \tau_{1,n}^1 \alpha_n, \\ y_2^1 &= \tau_{2,1}^1 \alpha_1 + \tau_{2,2}^1 \alpha_2 + \dots + \tau_{2,n}^1 \alpha_n, \\ &\vdots \quad \vdots \quad \vdots \quad \vdots \quad \vdots \quad \vdots \quad \vdots \quad \vdots \quad \vdots \quad \vdots \\ y_n^1 &= \tau_{n,1}^1 \alpha_1 + \tau_{n,2}^1 \alpha_2 + \dots + \tau_{n,n}^1 \alpha_n, \end{aligned}$$

or in matrix form $\mathbf{Y}^1 = \mathbf{T}^1 \mathbf{L}$, where

$$T^1 = [T^1_{i,j}], L^T = [\alpha_1, \alpha_2, \dots, \alpha_n].$$

We will select and consider only ET $\{\tau_{ij}\}$ to which edges of TLG forming MLL correspond. Matrix T^l for these ETs takes the form:

$$T^1 = \begin{bmatrix} 1 & \tau_{1,2}^1 & 0 & \dots & \tau_{1,n}^1 \\ \tau_{2,1}^1 & 1 & \tau_{2,3}^1 & \dots & 0 \\ 0 & \tau_{3,1}^1 & 1 & \dots & 0 \\ \dots & \dots & \dots & \dots & \dots \\ \tau_{n,1}^1 & 0 & 0 & \dots & 1 \end{bmatrix}$$

It can be seen that matrix T^l is symmetrical and only two of its elements other than elements of the main diagonal are equal to 1, while the rest are equal to 0.

After fulfillment of the second ET, modules of the system will contain information Y^2 , where $Y^2 = T^2 Y^1$, $T^2 = [\tau^2_{i,j}]$. Then after fulfillment of n elementary tests the modules will contain the following information:

$$Y^n = T^n T^{n-1} \dots T^1 L \text{ or } Y^n = T_\Sigma L, \text{ where}$$

$$T_\Sigma = T^n T^{n-1} \dots T^1.$$

Matrix T_Σ is of the form

$$T_{\Sigma} = \begin{bmatrix} r_d & r_c & f_{13}(\tau_{ij}) & \dots & r_c \\ r_c & r_d & r_c & \dots & f_{2n}(\tau_{ij}) \\ f_{31}(\tau_{ij}) & r_c & r_d & \dots & f_{3n}(\tau_{ij}) \\ \dots & \dots & \dots & \dots & \dots \\ r_c & f_{n2}(\tau_{ij}) & f_{n13}(\tau_{ij}) & \dots & r_d \end{bmatrix},$$

where $f_{mn}(\tau_{ij})$ is a function consisting of sums and products of elements of matrices $T^1, T^2, \dots, T^n$: r_c and r_d are elements differing from zero.

It can be shown that the following propositions are true for matrix T_Σ [4]:

1. A row will be found without fail in matrix T_Σ , which has no less than five elements differing from zero.
2. A row will be found without fail in matrix T_Σ , which has precisely $n - 3$ zero elements (with the odd number of modules in the system).
3. Total number of zero elements k_0 in matrix T_Σ satisfies relations

$$(k_0)_{\max} = n^2 - 4n \text{ at even } n \text{ and } n \leq 5,$$

$$(k_0)_{\max} = n^2 = 4n - 1 \text{ at odd } n,$$

$$(k_0)_{\max} = .n^2 - 5n + 3 \text{ at } n \leq 5,$$

$$(k_0)_{\max} = n^2 - 6n + 8 \text{ at } n > 5.$$

Sequence of fulfillment of the ET affects the values $f_{mn}(\tau_{ij})$ which can take values 0, 1 or 2.

Thus, depending on the succession of formation of MLL edges, formation of $n!$ matrices T_Σ is possible, which are characterized by a definite number of zero elements.

Since formation of matrices $T_{\mathcal{T}}$ is of a random nature, we will consider the probability of formation of definite groups of matrices. To do this, we break down the totality of all possible matrices $T_{\mathcal{T}}$ into groups $B_{k_0=i}(T_{\mathcal{T}})$ with the number of zero elements k_0 in each being equal to i , where $(k_0)_{\min} \leq i \leq (k_0)_{\max}$.

Therefore the probability of formation of each group of matrices $B_i(T_S)$ can be considered as the probability of the presence in matrix T_S of precisely i zero elements, i.e. $P\{k_0 = l\}$.

The method of determining probability $P\{k_0 = l\}$ is as follows. Intermodular information exchange is presented as a graph (Fig. 2) with nodes corresponding to modules of the system, and edges to elementary tests and to information exchange between modules of the system. The edges are numbered depending on the order of their formation. Arrows in Fig. 2 show direction of the

increase of numbers of two adjacent edges.

Information transmitted from one module of the system to another is represented on the TLG as an arrow directed from the edge having smaller number to the edge having greater number. Since information is transmitted in the direction of increasing number of edges, the number of arrows directed one after the other in the same direction is representative of the distance of information transmission and of the number of modules which receive this information.

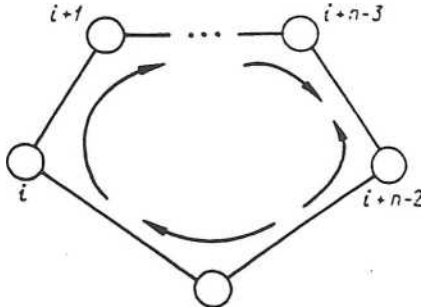


Figure 2. Graph of intermodular exchange of information.

The cases are considered successively when takes a concrete value i from $k_0=(k_0)_{min}$ to $k_0=(k_0)_{max}$. Arrangement of arrows in Fig. 2 is determined for each $k_0=l$, at which the number of information exchanges between modules of the system is equal to $(k_0)_{max} - l$. It should be noted that only information exchanges between modules corresponding to nonadjacent nodes of MLL are taken into account in this case. Then the number of indexings of edges corresponding to each arrangement of arrows in Fig. 2 is determined. The obtained number of indexings of edges is equal to the total number of different matrices T_{Σ} having $k_0=l$.

We determine probability $P\{k_0 = l\}$ as the ratio between the number of matrices T_{Σ} having $k_0=l$ and the total number of all possible matrices T_{Σ} , i.e. $n!$.

Thus the estimation of information on maximum-length loops contained in modules of the system can be performed with the aid of proposed matrix T_{Σ} . For example, in the case under consideration when one MLL is formed in a TLG of the system, zero elements will be found without fail in matrix T_{Σ} , and this means that modules of the system will not have full information about this MLL.

In order for modules of the system to possess such information, it is necessary that additional (with respect to MLL) edges are present in the TLG of the system. This represents the situation when information exchange takes place between modules of the system, corresponding to nodes connected by additional edges. Such information exchange can result in a situation when all modules of the system receive full information about MLL and about local degrees of nodes of TLG.

We will investigate the possibility of such situation.

Estimation of Completeness of Information about Maximum-Length Loops. The problem can be

subdivided into two parts:

1. The set of all possible matrices T_{Σ} is divided into groups each being characterized by its value of k_0 . All probabilities P_{ij} of a situation are determined for each group of matrices $B_i(T_{\Sigma})$ when after exchange of information between the i -th and the j -th module, the i -th and the j -th row in matrix T_{Σ} of the system will have no zero elements. In this case only such i and j are considered when edge (i, j) does not belong to MLL

2. Based on probabilities P_{ij} , probabilities P_U^B are determined of the situation when all rows of matrix T_{Σ} , $T_{\Sigma} \in B_i(T_{\Sigma})$ will have no zero elements.

Probabilities of formation of each group of matrices $P(B_i)$ are determined earlier as the probabilities of availability in matrix T_{Σ} of exactly f zero elements. In this case probability P_U can be determined with regard to the fact that after formation of MLL, arbitrary matrix T_{Σ} will take place and

$$P_U = \sum_{i=1}^s P(B_i) \cdot P_U^B,$$

where s is the number of groups of matrices T_{Σ} .

Determining Probability P_{ij} . It should be pointed out that formation of additional (with respect to MLL) edges is represented in matrix T_{Σ} in elements other than r_c and r_d . If an additional edge (i, j) has appeared after formation of MLL, then the i -th and the j -th rows of matrix T_{Σ} are added element-wise. If edge (i, j) appeared before formation of MLL, then elements τ_{ij} and τ_{ji} in the i -th and j -th rows of matrix T_{Σ} will differ from zero. If additional edge (i, j) was formed after some edges of MLL already existed, and a part of them did not, then random variable ω is introduced to take this fact into account, which takes "0" or "1" values with equal probability. Elements of the i -th and j -th rows which are marked as r , are multiplied by ω , whereupon the i -th and the j -th rows are added element-wise.

Probabilities P_{ij} are determined for each of groups $B_i(T_{\Sigma})$. To do this, one of matrices T_{Σ}' is selected where $T_{\Sigma}' \in B_i(T_{\Sigma})$. Then the number of zero elements is determined in each row of matrix T_{Σ}' : $\beta_1, \beta_2, \dots, \beta_n$.

Since the other matrices T_{Σ} , $T_{\Sigma} \in B_i(T_{\Sigma})$ can be formed from matrix T_{Σ}' by means of a cyclic substitution of rows, the i -th row of matrix T_{Σ} can have the following number of zero elements, respectively: $\beta_1, \beta_2, \dots, \beta_n$. This is also true for the j -th row. There is a strict correspondence between the number of zero elements in the i -th and the j -th rows, which can be determined from the initial distribution of the number of zero elements over rows of matrix T_{Σ}' . To do this, we will consider cyclic substitution

$$\begin{matrix} \beta_1, & \beta_2, & \dots, & \beta_n \\ 1, & 2, & \dots, & n \end{matrix}$$

where $\beta_1, \beta_2, \dots, \beta_n$ are the numbers of zero elements in rows of matrix $T_{\Sigma}': 1, 2, \dots, n$ are numbers of rows of matrix T_{Σ} belonging to group $B_i (T_{\Sigma})$. Thus, at each shift of the lower row of substitution (2), there is a strict correspondence between the i -th and the j -th row, which is defined by the upper row of substitution (2). At each shift of the lower row of substitution (2) we determine the existence of the fact of joint covering of the i -th and the j -th row of matrix T_{Σ} by nonzero elements of all columns. We sum up all cases of complete covering of columns.

The value of the ratio of the number of cases of complete covering m_{ij} to the number of all cases being considered M_{ij} represents probability P_{ij} .

This probability differs from probability P_{ij} in that the order of priority of formation of edges of MLL and of edges corresponding to additional tests is not taken into account. To take into account the order of priority of formation of graph edges, we will consider separately the i -th and the j -th rows of matrix T_{Σ} :

$$T_{\Sigma i} = \begin{bmatrix} \tau_{i,1}, \tau_{i,2}, \dots, r_c \omega, r_d, r_c \omega, \dots, \tau_{i,j-1}, \tau_{i,j}, \\ \tau_{i,j+1}, \dots, \tau_n \end{bmatrix},$$

$$T_{\Sigma j} = \begin{bmatrix} \tau_{j,1}, \tau_{j,2}, \dots, \tau_{j,i-1}, \tau_{j,i}, \tau_{j,i+1}, \dots, r_c \omega, r_d, \\ r_c \omega, \dots, \tau_{j,n} \end{bmatrix}.$$

We will introduce into consideration random events b_1, b_2, b_3 and b_4 , where $b_1 = \{\tau_{i,i-1} \neq 0\}$, $b_2 = \{\tau_{i,i+1} \neq 0\}$, $b_3 = \{\tau_{j,j-1} \neq 0\}$, $b_4 = \{\tau_{j,j+1} \neq 0\}$.

Probabilities of these events are equal to 0.5 since by definition random quantity ω takes with equal probability the values 0 or 1. Since in element-wise summation of the i -th and the j -th rows, summation of elements $\tau_{i,i+1}$ and $\tau_{j,j+1}$ is possible, we introduce into consideration complex events A_i , where $A_i = \{b_{t1} \oplus b_{t2}\}$, $t_1, t_2 \in [1, 4]$. Then probability of event A_i will be equal to $P(A_i) = P(b_{t1}) + P(b_{t2}) - P(b_{t1}) \cdot P(b_{t2}) = 0.75$. We will define event B_k , $k = \overline{1, 4}$ as $B_k = \{b_{t1} \oplus b_{t0}\}$, where $t_1 \in [1, 4]$, $b_{t0} = \{\tau_{q \neq 0}\}$, $q \in [(j, i+1); (i, j+1)]$. Then probabilities of the events will be equal to

$$P(B_1) = \begin{cases} 0.5. \text{ if } \tau_{j,i-1} = 0. \\ 1. \text{ if } \tau_{j,i-1} = 1. \end{cases}$$

$$P(B_2) = \begin{cases} 0.5. \text{ if } \tau_{j,i-1} = 0. \\ 1. \text{ if } \tau_{j,i-1} = 1. \end{cases}$$

$$P(B_3) = \begin{cases} 0.5. \text{ if } \tau_{i,j-1} = 0. \\ 1. \text{ if } \tau_{i,j-1} = 1. \end{cases}$$

$$P(B_4) = \begin{cases} 0.5. \text{ if } \tau_{i,j-1} = 0. \\ 1. \text{ if } \tau_{i,j-1} = 1. \end{cases}$$

Thus, consideration of the order of priority in

formation of edges of the graph is reduced to determination of the following probability:

$$P_S = P(A) \prod_{k=1}^4 P(B_k).$$

Therefore, the i -th and the j -th rows of matrix T_0 at each cyclic shift of the lower row of substitution (2) overlap jointly all its columns with probability P_S . It should be noted that probability P_S is determined for the i -th and the j -th rows separately for each new matrix T_{Σ} formed from the initial matrix T_{Σ}' through a cyclic substitution of rows.

With regard to probabilities $P_{\gamma_s}^{\gamma}$, $\gamma = \overline{1, n}$, where y is the number of the cyclic shift of the lower row of substitution (2), we can define more exactly the value of m_{ij} decreasing to m_{ij}^{ω} . To determine m_{ij}^{ω} , we find first probabilities $P_{mij}(k)$ of situations when among m_{ij} substitutions for which the i -th and the j -th rows of matrix T_{Σ} overlap jointly all its columns (without regard for ω), k such substitutions will be found for which the i -th and the j -th rows of matrix T_S overlap jointly all its columns (with regard for ω). These probabilities can be found from an expression corresponding to the Bernoulli formula for unequal probabilities in each outcome

$$P_{mij}(k) = \sum_{i_1, i_2, \dots, i_n=1, n} P_{i_1} P_{i_2} \dots P_{i_k} \bar{P}_{i_{k+1}} \dots \bar{P}_{i_n},$$

$$i_1 \neq i_2 \neq \dots \neq i_n$$

$$P_{i_1} = P_S^1, P_{i_2} = P_S^2, \dots, P_{i_n} = P_S^n.$$

In this case quantity m_{ij} is determined as the most probable number of substitutions for which the i -th and the j -th rows of matrix T_{Σ} overlap jointly all its columns with regard for ω . Then we find m_{ij}^{ω} from the system of two inequalities

$$\begin{cases} P_{mij}(m_{ij}^{\omega}) \geq P_{mij}(m_{ij}^{\omega} + 1), \\ P_{mij}(m_{ij}^{\omega}) \geq P_{mij}(m_{ij}^{\omega} - 1) \end{cases}$$

Probability $P_{i,j}$ sought can be found with regard to m_{ij}^{ω} as

$$P_{i,j} = \frac{m_{ij}^{\omega}}{M_{ij}}.$$

After exchange of information between the i -th and the j -th modules, a situation is possible when these modules will not possess complete information about MLL. Now let us assume that the i -th module will then exchange information with the j_2 -th module. It is evident that in this case there exists a difference as to whether ET (i, j) was performed or not. An ET performed earlier can be taken into account by means

of respective conditional probabilities.

Probability $P(i, j_2 / i, j_1)$ is the probability of the situation when after exchange of information between the i -th and the j -th modules, the i -th and the j -th rows in corresponding matrix T_Σ of the system will be free from zero elements provided that exchange of information between the i -th and the j -th modules was carried out earlier. This probability is determined from consideration of three rows of matrix T_Σ . As in consideration of only two rows, probabilities P_S are determined. But in this case as distinct from expression (3), events A_1 and A_2 are possible. Then based on probabilities P'_{ij, j_2} , $\gamma = \overline{1, n}$ we find successively $P_{mij, j_2}(k)$, m_{ij, j_2}^{ω} and $P(i, j_2 / i, j_1)$. All other conditional probabilities $P(i, j_n / i, j_1; \dots; i, j_{n-1})$ can be found in a similar manner.

Determination of Probability P_U . Based on probabilities P_{ij} and conditional probabilities $P(i, j_n / i, j_1; \dots; i, j_{n-1})$, complete information about MLL in each module of the system can be formed as the Markovian chain with irreversible states and one absorbing state. The states in this case are the states of the system with concrete additional tests. After completion of the next additional test, the system changes to the state when corresponding matrix of the system T_Σ has no rows with zero elements or changes to the state in which there are rows with zero elements in matrix T_Σ . This state is marked by additional tests. It is assumed that a restriction is imposed on the multiplicity of performance of elementary tests.

Transitions of the system from one state to another actually take place at random instants of time. However we can assume that these transitions occur at strictly fixed instants since in this model we are not interested in time characteristics of the process.

Then Markovian chain with discrete states and discrete time for our case can be illustrated in Fig.3. It is apparent that S_0 stands for the state of the system without additional tests, and S_Σ for the state when rows with at least one zero element are absent in matrix corresponding to the system. We can assume in the simplest case that all probabilities of transition from state S_i to state S_j (except for state S_Σ) are equal, i.e. if transitions from state S_{m1+2} to r other states from the group of states with three additional tests are

possible, then all probabilities of transitions from state S_{m1+2} are equal to $1/r$.

The following quantity is determined for each state of the system:

$$QS_{m_1 - \dots - m_{k-1} - i} = P(S_{m_1 + \dots + m_{k-1} + i}) P(S_{m_1 + \dots + m_{k-1} + i; S_\Sigma), \\ i = \overline{1, m_k},$$

where $P(S_{m_1 + \dots + m_{k-1} + i})$ is probability of the fact that after performance of k additional tests the system will prove to be in state $S_{m_1 + \dots + m_{k-1} + i}$; $P(S_{m_1 + \dots + m_{k-1} + i; S_\Sigma)$ is probability of transition of the system from state $(S_{m_1 + \dots + m_{k-1} + i}$ to state S_Σ .

This probability is equal to conditional probability $P(i, j_n / i, j_1; \dots; i, j_{n-1})$, where tests (i, j_1) , (i, j_2) , ..., (i, j_{n-1}) determine state $S_{m_1 - \dots - m_{k-1} - i}$.

To obtain probability $P(S_{m_1 - \dots - m_{k-1} - i})$, we will take advantage of correspondence between the number of additional tests in the system and index of step in the discrete Markovian chain.

This correspondence implies that the index of step is equal to the number of additional tests and, correspondingly, to the number of the group of states with the fixed number of additional tests. In this case probability $P(S_{m_1 - \dots - m_{k-1} - i})$ is determined by the formula of total probability

$$P_{k+1}^{(j)} = \sum_{i=1}^L P_k^{(i)} \cdot P_{k, k+1}^{(ij)}, \quad j = 1, \dots, M,$$

where L is the number of possible states of the system at the k -th step; M is the number of possible states at the $(k+1)$ -th step; $P_{k+1}^{(j)}$ is probability of the situation that at the $(k+1)$ -th step (with $k+1$ additional tests) the system will prove to be in state S_j ; $P_k^{(i)}$ is probability of the fact that at the k -th step the system will be in the state S_i ; $P_{k, k+1}^{(ij)}$ is probability of the situation that the system at the $(k+1)$ -th step will prove to be in state S_j if it was at the k -th step in the state S_i .

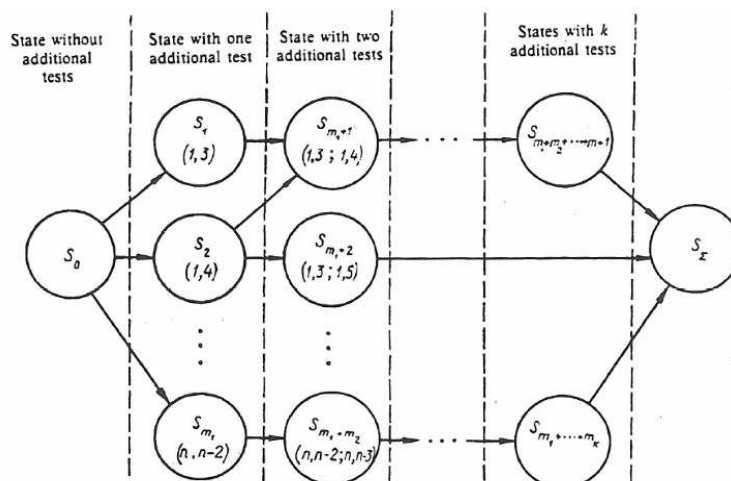


Fig. 3. System state and Transition graph

Expression (4) allows us to determine step-by-step, one after the other, probabilities $P(S_j)$, $P(S_{m1-i})$, ..., $P(S_{m1-i \dots mk-1-i})$ with regard to the fact that at the initial instant of time the system was in the state S_0 . Then quantity $M(\Gamma_k, S_\Sigma)$, where $M(\Gamma_k, S_\Sigma) = \sum_{S_i \in \Gamma_k} Q_{S_i}$ should be determined for

each group of states (i.e. states with a definite number of additional tests).

This quantity is in essence the average value of probability of the event that after performance of k additional tests, rows with at least one zero element will be absent in the matrix of the system T_Σ , i.e.

$$M(\Gamma_k, S_\Sigma) = \tilde{P}_U^{B_1}.$$

We will also determine probability of the event that after performance of ω ET, MLL will be formed in TLG of the system and each module will have information about this MLL and about local degrees of all nodes of TLG.

$$P_0 = P_{MLL} P_U \quad \text{or with regard to (1)}$$

$$P_0 = P_{MLL} \sum_{l=1}^s P(B_l) \tilde{P}_U^{B_l} = P_{MLL} \sum_{l=1}^s P(B_l) M(\Gamma_k, S_\Sigma),$$

$$\text{where } k = \omega - n.$$

It should be mentioned here that determination of probability of formation of the maximum-length loop P_{MLL} is an independent problem which is not considered in the present paper.

Furthermore, we will take into consideration the fact that several MLL can be formed in a TLG of the system after fulfillment of ω ET. Because of this, probability P_0 is considered with respect to a particular MLL. In this connection, notation P_0^{MLLi} (where $i = \overline{1, m}$, m is the maximum number of MLL for the system of N modules) is introduced for this probability. Based on this, probability P_Σ of situation that after fulfillment of ω ET m MLL will be formed in TLG of the system and each module will have

complete information about them, is equal to $P_\Sigma = (P_0^{MLLi})^m$, since $P_0^{MLL1} = P_0^{MLL2} = \dots = P_0^{MLLm}$, 73

$$P_{\Sigma, t} = C_m^t \left(P_0^{MLLi} \right)^t \left(1 - P_0^{MLLi} \right)^{m-t}.$$

In closing, the following conclusions can be made. One of the main features of self-diagnosis of complex technical systems with the random structure of testing links is the intermodular information exchange. This exchange is carried out in order that each module of the system should have sufficient information for the subsequent diagnosis of the system with preset probability.

At a random fulfillment of ET and, therefore, at a random exchange of information between modules of the system, it is impossible to determine exactly which information will be possessed by modules after a preset time of operation and, therefore, it is impossible to say reliably whether a particular module will be capable of performing diagnosis of the system.

In this connection probabilistic characteristics are determined in the present paper, which allow us to establish a relation between diagnostic information possessed by a module and the number of elementary tests performed in the system.

The procedures for determining probability $P_{\Sigma, t}$ can be presented in the form of computer programs. These procedures allow us to avoid processing of considerable bodies of information in order to provide probabilistic characteristics (relations) sought. For example, to investigate only one MLL without application of these procedures, one would have to consider and simulate N^t different situations of ET distribution. There will be about one hundred billion such situations for a system consisting of 14 modules.

Relation between probability $P_{\Sigma, t}$ and the number of performed ET determined in the present paper is one of the main characteristics required for development of the procedure of self-diagnosis of complex technical systems.

References:

1. V. A. Gulyaev, *Organization of Diagnostic Systems for Computer Systems* [in Russian]. Nauk. Dumka, 1979.
2. V. I. Gostev, *Control Systems with Digital Controllers* [in Russian], Tekhnika, Kiev. 1990.
3. O.A. Mashkov, "On functional stability of airborne information and control systems", in: *Problems of Increase of Effectiveness and Quality of Flight and Navigation Control Systems for Aircrafts*. KIIGA. Kiev, pp. 79-83. 1990.
4. V.A. Mashkov. *Self-Diagnosis of Airborne Computer Systems* [in Russian J, KVVAIU. Kiev. 1989.
5. Машков О.А., Усаченко Л.М. Новые подходы к построению функционально устойчивых сложных динамических систем / Системи управління, навігації та зв'язку, вип. 4(8), К., 2008 р., с. 68-72.
6. Машков О.А., Усаченко Л.М. Теоретические основы построения функционально-устойчивой автоматизированной системы обслуживания воздушного движения (терминология и модели) / Моделювання та інформаційні технології / Інститут проблем моделювання в енергетиці, НАН України, вип. 47, 2008, с. 3-17.
7. Дурняк Б.В., Машков О.А., Усаченко Л.М., Сабат В.І. Методологія забезпечення функціональної стійкості ієрархічних організаційних систем управління / Збірник наукових праць: Інститут проблем моделювання в енергетиці, НАН України, вип. 48, 2008, с. 3-21.
8. Машков О.А., Чумакевич В.О., Шуренок В.А., Пулеко І.В. Проблеми створення функціонально стійких моделей комплексів озброєння / Збірка тез доповідей Другої Всеукраїнської науково-технічної конференції: Перспективи розвитку озброєння і військової техніки Сухопутних військ, Львів, 2009, с. 251.
9. Машков О.А. Современные проблемы развития теории функционально устойчивых сложных систем управления /

Матеріали міжнародної конференції *Dynamikal system modelling and stability investigation* / Вісник Київського національного університету імені Тараса Шевченка, Київ, 2009, С.301.

10. Машков О.А., Усаченко Л.М. Принципи забезпечення функціональної стійкості псевдосупутникової радіонавігаційної системи / Збірник наукових праць: Проблеми створення, випробування, застосування та експлуатації складних інформаційних систем, Вип. 1 / Житомир : ЖВІ НАУ, 2008, С. 135-144.

11. Машков О.А., Барабаш О.В., Дурняк Б.В., Обідін Д.М. Забезпечення функціональної стійкості складних технічних систем / Моделювання та інформаційні технології / Збірник наукових праць, Інститут проблем моделювання в енергетиці, вип. 64, Київ, 2012, с. 36-41.

12. Машков О.А., Косенко В.Р. Розробка алгоритмів синтезу оновлюючого керування для інформаційно-керуючих комплексів рухомих об'єктів / Моделювання та інформаційні технології / Збірник наукових праць, Інститут проблем моделювання в енергетиці, вип. 62, Київ, 2011, с. 208-225.

13. Машков О.А., Косенко В.Р. Задача синтезу оновлюючого керування при побудові функціонально-стійких бортових інформаційно-керуючих комплексів / Моделювання та інформаційні технології / Збірник наукових праць, Інститут проблем моделювання в енергетиці, вип. 61, Київ, 2011, с. 202-229.

14. Машков О.А., Косенко В.Р. Синтез функціонально-стійкої системи керування рухомих об'єктом із заданими динамічними властивостями / Збірник наукових праць / Інститут проблем моделювання в енергетиці НАН України, вип. 60, Київ, 2011, с. 186-214.

ОРГАНИЗАЦИЯ ПРОЦЕДУРЫ САМОКОНТРОЛЯ В ФУНКЦИОНАЛЬНО УСТОЙЧИВЫХ КОМПЛЕКСАХ

Машков О.А., Машков В.А.

Рассмотрен межмодулярный обмен диагностической информацией при самодиагностике сложных технических систем со случайной структурой тестовых элементов. Оценивается информация о структуре тестовых элементов системы, собранных в ее модулях в результате межмодульного обмена.

Ключевые слова: самоконтроль, самодиагностика, межмодульный обмен, информация, функциональная устойчивость.

ОРГАНІЗАЦІЯ ПРОЦЕДУРИ САМОКОНТРОЛЮ У ФУНКЦІОНАЛЬНО СТІЙКИХ КОМПЛЕКСАХ.

Машков О.А., Машков В.А.

Розглядається міжмодульний обмін діагностичної інформації при самодіагностуванні складних технічних систем з випадковою структурою тестових елементів. Здійснюється оцінка інформації про структуру тестових елементів, які зібрані у її модулях за результатами міжмодульного обміну.

Ключові слова: самоконтроль, самодіагностика, міжмодульний обмін, інформація, функціональна стійкість.

НАЗЕМНІ СИСТЕМИ, ЛІТАЛЬНІ АПАРАТИ ТА РАКЕТНО-КОСМІЧНІ КОМПЛЕКСИ

УДК 537.311.322: 621.763

Канюков Е.Ю., Демьянов С.Е.

ГО «НПЦ НАН Беларуси по материаловедению», Беларусь, г. Минск.

НИЗКОТЕМПЕРАТУРНЫЕ СЕНСОРЫ МАГНИТНОГО ПОЛЯ НА ОСНОВЕ СТРУКТУР N-Si/SiO₂(Ni) ДЛЯ АППАРАТУРЫ БОРТОВОГО ПРИМЕНЕНИЯ

Посредством ионно-трековой технологии, заключающейся в облучении быстрыми тяжелыми ионами, селективном травлении и электрохимическом осаждении никеля в поры сформированы структуры n-Si/SiO₂(Ni). Впервые установлены механизмы электропереноса в температурных интервалах ~300-200 К, ~200-100 К и ~100-20 К и обнаружена инверсная по знаку зависимость ЭДС Холла от температуры, обусловленная доминированием электронного (~300-100 К) или дырочного типа проводимости (~100-20 К), с отклонением температурной зависимости от экспоненциального закона при температурах ниже 100 К. Обнаружен положительный магниторезистивный эффект, достигающий 1000 % при температуре порядка 25 К, уменьшающийся с ростом температуры и исчезающий при ~100 К, что позволяет создать высокочувствительные сенсоры магнитного поля для аппаратуры космического применения, функционирующей при жидководородном охлаждении. Определены перспективы создания сенсоров с использованием чередующихся слоев из ферромагнитных и немагнитных металлов в нанопорах и показана возможность применения концепции «Управляемого электронного материала с порами в оксиде кремния».

Ключевые слова: сенсоры магнитного поля, низкотемпературные сенсоры, сенсоры с использованием чередующихся слоев

Введение. В последнее время проявляется большой интерес к искусственно создаваемым средам с наноразмерными гетерогенностями. Это обуславливается тем, что в низкоразмерных структурах проявляются новые свойства, не характерные для материалов с мезоскопическими или микроскопическими размерами [1–2]. Для получения структур с низкоразмерными неоднородностями целесообразно применять протравленные треки быстрых тяжелых ионов (поры) в диэлектрической матрице на полупроводнике, как шаблона для заполнения различными металлами, так как создаются естественные условия для реализации таких структур [3]. Дискретность металлической фазы, разделенной диэлектрической прослойкой может привести к появлению новых макроскопических свойств, таких как положительное магнитосопротивление, эффект Холла, на несколько порядков превышающий данный эффект в чистых металлах, и целого ряда других необычных физических характеристик [4–6].

Несмотря на интенсивные исследования систем с наноразмерными металлическими включениями, практически отсутствуют данные о сравнительном и систематическом изучении электрофизических и гальваномагнитных свойств гетероструктур Si/SiO₂/металл, хотя в ряде публикаций сообщается о наблюдении положительного магнитосопротивления в схожих структурах [7]. Объяснения, предлагаемые в этих работах, различны и порой противоречат друг другу, а многие вопросы относительно механизмов электропереноса остаются невыясненными. В данных работах для описания температурной зависимости сопротивления привлекаются

различные механизмы: слабая локализация, кулоновская блокада, прыжковый перенос, неупругое резонансное туннелирование [8–10].

Перспективы практического применения обуславливают необходимость тщательного исследования данных структур для установления условий появления положительного магнитосопротивления и определения критериев его существования. Для этого важным аспектом является глубокое понимание механизмов переноса носителей заряд и вклада вносимого металлическими кластерами в пространственное распределение заряда. По этой причине авторы в данной работе приводят результаты исследования электрофизических и гальваномагнитных свойств гетероструктур на основе протравленных ионных треков в оксидированном кремнии, в которых посредством электрохимического осаждения сформированы однородные композиции металлических наночастиц, а также авторы представляют свое видение механизмов электропереноса, которые реализуются в исследуемой структуре при различных температурах. Понимание механизмов электропереноса, реализуемых в различных температурных областях, а также влияние внешнего магнитного поля на движение носителей заряда определит возможность использования структур Si/SiO₂/Ni в качестве рабочего элемента в сенсорных устройствах, в том числе в аппаратуре бортового применения.

Методика эксперимента. Для приготовления структур n-Si/SiO₂/Ni в качестве основы использовались промышленно выпускаемые монокристаллические пластины кремния КЭФ-4,5 ориентацией (100). Слой оксида кремния, толщиной

700 нм, создавался термическим окислением кремния при температуре 1100 °C в течение 10 часов в атмосфере очищенного кислорода. В исследовательском центре «GSI» (Дармштадт, Германия) образцы n-Si/SiO₂ облучались ионами ¹⁹⁷Au²⁶⁺ с энергией 350 МэВ, в результате чего в слое SiO₂ образовывались стохастически распределенные по поверхности латентные ионные треки со средней плотностью 5×10^8 см⁻², соответствующей дозе облучения. Далее латентные треки, являющиеся по сути областями локальных повреждений с повышенной дефектностью на поверхности SiO₂ протравливались в плавиковой кислоте концентрацией 1,35 % при комнатной температуре. Вследствие различия в скоростях травления облученных и необлученных областей оксида кремния было определено оптимальное время травления (40 мин), необходимое для формирования сквозных (до поверхности Si) пор. По данным сканирующей электронной микроскопии (СЭМ), были определены форма и латеральные размеры пор, которые представляют собой усеченные конусы с конусностью ~ 30–35° и диаметрами 200–250 нм на поверхности SiO₂, и 50–100 нм на границе с кремнием. Высота конусов соответствует толщине оксида кремния после травления (~250–300 нм).

Заполнение конусных нанопор никелем проводилось электрохимическим методом. Электрохимические эксперименты выполнялись в стандартной трехэлектродной стеклянной ячейке с разделенными электродными пространствами. Осаждение никеля в темпаты n-Si/SiO₂ с протравленными ионными треками проводилось в потенциостатическом режиме из водного электролита, содержащего 0,5 моль/л NiSO₄ и 0,5 моль/л H₃BO₃. Для равномерного распределения потенциала по поверхности, на неоксидированную сторону кремния наносился In-Ga эвтектический сплав, к которому подводился электрический контакт. В качестве вспомогательного электрода использовалась платиновая проволока, а в качестве сравнительного – хлорсеребряный насыщенный раствор [11].

Результаты и обсуждения. Как следует из СЭМ

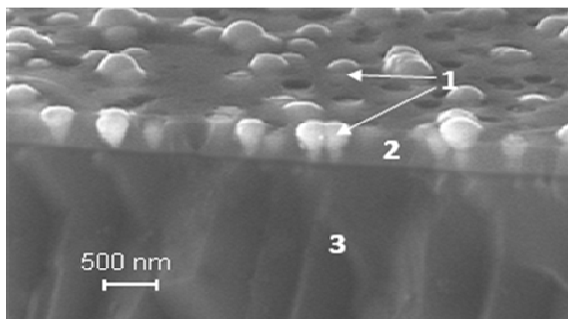


Рис. 1. СЭМ-изображение структуры n-Si/SiO₂/Ni:
1 – никель, осажденный в поры оксида кремния,
2 – слой оксида кремния,
3 – подложка кремния.

- изображения (рис.1.) и ранее опубликованных нами результатов [11–12] металл осаждается в поры в виде нанокластеров размером 30–50 нм, контактирующих с поверхностью кремния.

Исследование электрофизических свойств гетероструктур проводилось на образцах в форме прямоугольного параллелепипеда длиной 10 мм и шириной 3 мм и толщиной, соответствующей толщине кремниевой подложки. Для получения омичных и механически надёжных контактов на поверхность образцов со стороны SiO₂/Ni методом ультразвуковой пайки наносились индиевые электроды площадью ~ 1 мм² по схеме, представленной на рисунке 2.

Электрофизические и гальваномагнитные измерения проводились на универсальной измерительной системе фирмы „Cryogenic Limited“ в режиме заданного тока от стабилизированного источника питания. Измерения электросопротивления R и магнитосопротивления (MR) проводилось четырех-зондовым методом, а принцип измерений (рис.2) обеспечивал протекание тока по схеме металл-полупроводник-металл. Для исключения влияния асимметричности барьерного сопротивления все измерения выполнялись с коммутацией тока I , значения которого для исключения возможности сварки металлических кластеров в порах не превышали 100 нА. Температурные зависимости электросопротивления измерялись в режиме непрерывного охлаждения со скоростью 1 К/мин с точностью определения температуры 0,001 К.

Исследования MR и ЭДС Холла U_H проводились в постоянном магнитном поле величиной до 12 Тл и направленном перпендикулярно плоскости гетероструктуры. Для исключения возникновения температурных градиентов в структурах, образцы термостатировались при каждой температуре измерения в течение получаса; отклонение температуры от задаваемой при проведении измерений не превышало 0,1 К. Во избежание проявления фотопроводимости и фото-ЭДС измерения проводились в закрытой измерительной

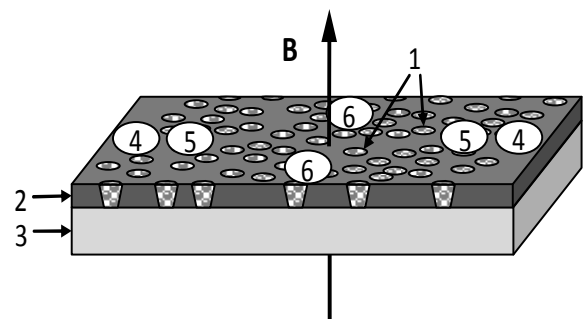


Рис. 2. Схема структуры n-Si/SiO₂/Ni и расположения контактов для измерения электрофизических и гальваномагнитных свойств: 1 – металл в порах, 2 – слой оксида кремния, 3 – кремний, 4 – токовые контакты, 5 – потенциальные контакты, 6 – холловские контакты.

ячейке. Для исключения вкладов паразитной термо-ЭДС и геометрических ошибок из-за неточного расположения холловских контактов на одной эквипотенциали образца измерения в каждой точке выполнялись с коммутацией направлений тока и поля.

Исследование электрофизических свойств гетероструктур n-Si/SiO₂/Ni логично было начать с изучения вольт-амперные характеристики (ВАХ), поскольку согласно методике измерения токоперенос, осуществляемый по схеме металл-полупроводник-металл (см. рис.2), предполагает нелинейность зависимостей $I(U)$. Это подтверждают данные, приведенные рисунке 3, из которых следует, что нелинейность симметрична для обоих направлений приложенного напряжения и свидетельствует о наличии барьера Шоттки при переходе носителей заряда из металлических кластеров Ni в кремний.

Как видно, зависимости при различных температурах качественно подобны друг другу, но при понижении T нелинейность ВАХ проявляется при более высоких напряжениях и имеет более резкий характер, что связано с повышением сопротивления на барьере [3]. Тем самым уменьшается вероятность его прохождения за счет туннельной эмиссии зарядов.

Температурные зависимости электросопротивления Si/SiO₂/Ni в нулевом магнитном поле и поле 12Тл представлены на рисунке 4. Во всем исследованном интервале T имеет место увеличение сопротивления структуры, что в целом характерно для полупроводников. Однако, вид зависимостей значительно более сложный и имеет особенности, которые позволяют четко выделить 3 температурных интервала: I – соответствует области температур 300 – 180 К, II – 180 – 30 К, III – 30 – 18 К. Ниже температуры 18 К результаты отсутствуют, так как электросопротивление

структуры достигает значений, превышающих предел измерения установки в режиме заданного тока.

В первом температурном интервале имеет место быстрое, практически линейное увеличение электросопротивления более чем на два порядка, вплоть до температуры 180 К. При последующем охлаждении гетероструктуры на зависимости $R(T)$ наблюдается параболический перегиб и слабый рост сопротивления вплоть до 30К с тенденцией к насыщению (область II). Третий, низкотемпературный интервал характеризуется резким экспоненциальным возрастанием R и структура Si/SiO₂/Ni в целом становится диэлектриком при T ниже 18К.

При анализе такой нетривиальной температурной зависимости электросопротивления необходимо учитывать сложность исследуемой структуры, сочетающей в себе металлические наноразмерные кластеры Ni в диэлектрической матрице на подложке кремния п-типа.

Следует отметить, что при электропереносе в приграничном слое кремния, в контакте с ним находятся заполненные металлом поры, плотность которых составляет 10^8 см^{-2} , а среднее расстояние между ними $\sim 500 \text{ нм}$. Учитывая, что средний размер контакта никеля с кремнием для единичной поры равен 100 нм, это составляет около 20% пути носителей заряда при токопереносе (см. рис. 1). Данные особенности определяют механизмы проводимости, доминирующие в каждом температурном интервале.

В первом, «высокотемпературном» диапазоне, система n-Si/SiO₂/Ni характеризуется собственной электропроводностью кремния, а температурная зависимость определяется изменением концентрации и подвижности носителей заряда. С понижением температуры концентрация электронов, переходящих через запрещенную зону

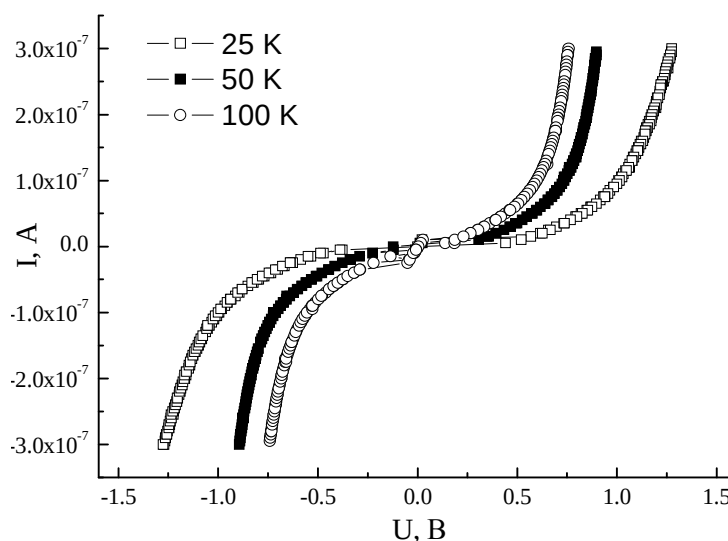


Рис.3. Вольт-амперные характеристики образцов с никелем в порах при температурах 25, 50 и 100 К

в зону проводимости, экспоненциально уменьшается, что должно приводить к соответствующему увеличению сопротивления. В целом такая тенденция наблюдается до $T \sim 180$ К, однако рост $R(T)$ происходит по линейному закону. Такой характер зависимости связан с наличием в гетероструктуре кластеров никеля со значительно меньшим удельным сопротивлением по сравнению с кремнием. Несмотря на то, что в рассматриваемом температурном интервале движение заряда происходит по всему объему полупроводника, а токоперенос в приповерхностных областях будет осуществляться по кластерам Ni, длина свободного пробега электронов в которых соизмерима с их размерами.

При температурах ниже 180 К прекращается термоактивируемый переход носителей через запрещенную зону. Участок кривой в интервале 180–30 К (область II на рис. 4), где имеет место слаборастущая зависимость $R(T)$, является областью с постоянной концентрацией носителей заряда. Электронные ресурсы примесных атомов, максимальные при низких температурах, истощены, а их подвижность при понижении температуры падает. Это приводит к увеличению высоты барьера и сопротивление на контактах полупроводник – металл становится больше чем у кремния, вследствие чего электроны кластеров Ni не принимают участие в электропереносе.

Температуры ниже 30 К (область III) малы для образования достаточной концентрации носителей

заряда за счёт перехода электронов с примесных уровней в зону проводимости, и кремний фактически становится диэлектриком.

В этих условиях электроперенос в основном осуществляется по локализованным состояниям в приповерхностных слоях Si, а в областях контакта с порами по металлическим кластерам. При этом величина сопротивления и характер температурной зависимости определяется доминирующим высокоомным состоянием полупроводниковой составляющей гетероструктуры.

Подтверждением роли металлических кластеров в механизме проводимости при низких температурах является зависимость $R(T)$ в магнитном поле. Поведение кривых на рисунке 4 свидетельствуют, что магнитное поле не влияет на электропроводность гетероструктуры в высокотемпературном диапазоне, по крайней мере до $T \sim 100$ К. При понижении температуры электросопротивление в поле увеличивается относительно значений R в его отсутствии (вставка на рис. 4), т.е. имеет место положительный магниторезистивный эффект.

Из температурной зависимости относительного магнитосопротивления $MR = \frac{R_B - R_0}{R_0}$ (R_B и R_0 – сопротивление в магнитном поле и в его отсутствии, соответственно) видно, что при экспоненциальном росте MR достигает значений $\sim 1000\%$ (рис. 5).

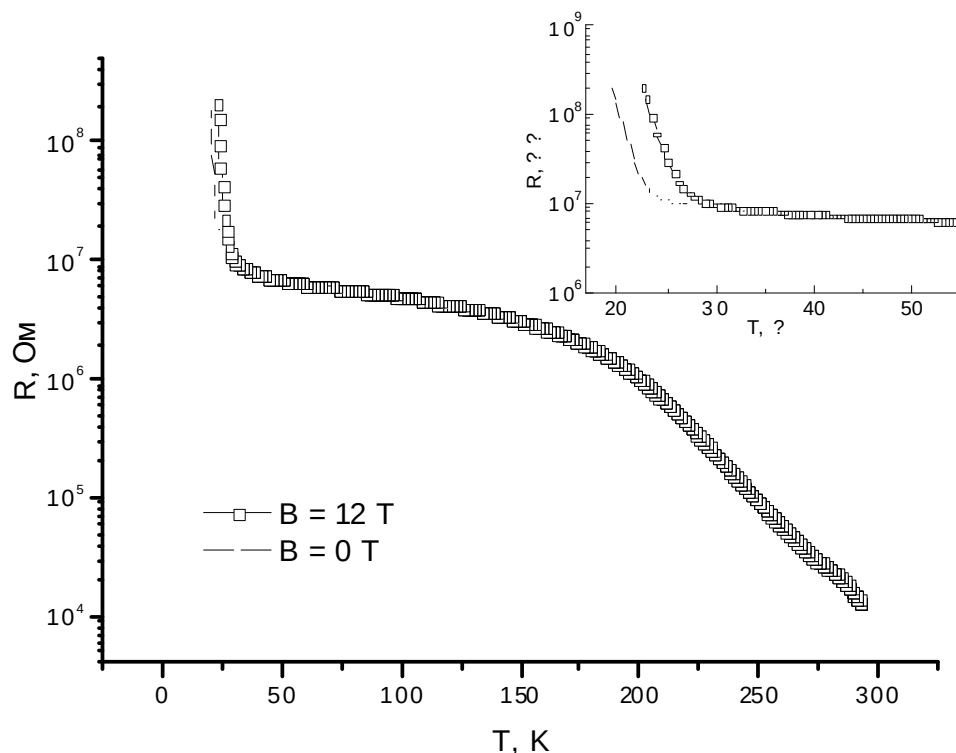


Рис. 4. Температурные зависимости сопротивления гетероструктуры Si/SiO₂/Ni в отсутствие магнитного поля и в поле 12 Тл

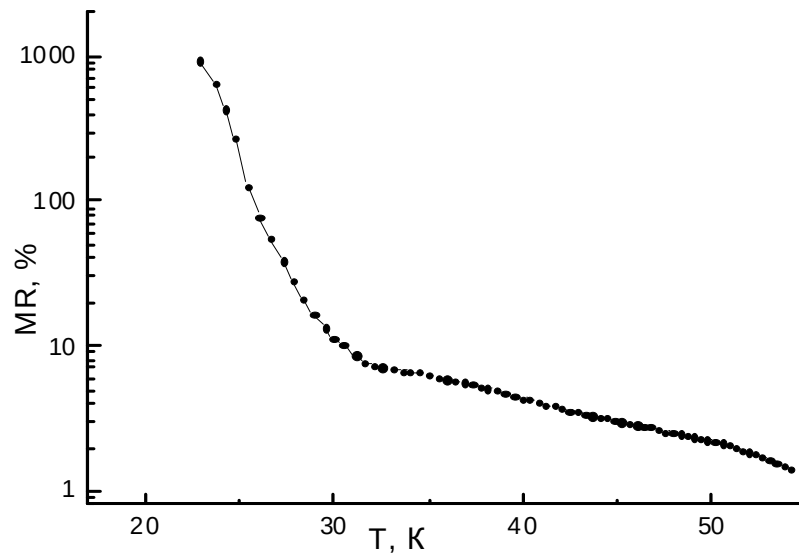


Рис. 5. Температурная зависимость относительного магнитосопротивления структуры Si/SiO₂/Ni в поле 12 Тл

Данные приведенные выше свидетельствуют о существовании двух механизмов электропереноса работающих в различных температурных областях: высокотемпературной и низкотемпературной. Однако неясно, при какой температуре происходит переключение с одного механизма на другой, так как зависимость $R(T)$ дает температуру 35 К, $R(B)$ ~50 К, а из ВАХ следует что при температуре ~100 К. Для определения точной температуры смены механизмов переноса были проведены исследования гальваномагнитных свойств гетероструктуры n-Si/SiO₂/Ni.

На рисунках 6 и 7 представлены температурные и полевые зависимости ЭДС Холла, наиболее достоверные и типичные для разных температурных интервалов (4–300 К с шагом 25К) и магнитных полей (0–12 Тл с шагом 1–0,25 Тл).

Во всем интервале магнитных полей

температурные зависимости холловского напряжения качественно идентичны, на рисунок 6. В области высоких температур ЭДС Холла экспоненциально возрастает и имеет положительный знак (что характерно для n-Si) до температур 110–20 К. В области $T \sim 100$ К знак резко изменяется на отрицательный и достигает минимума при температуре около 75 К. При T ниже 75 К ЭДС Холла выходит на насыщение, с тенденцией к медленному понижению U_x по абсолютному значению.

Для полевых зависимостей очевидно, что при температурах выше 100 К ЭДС Холла является растущей функцией поля, рисунок 7. При $T = 100$ К полевая зависимость становится аномально падающей, то есть с ростом поля ЭДС Холла уменьшается. Ниже 100 К, в области отрицательных значений ЭДС является растущей по абсолютному значению функцией поля.

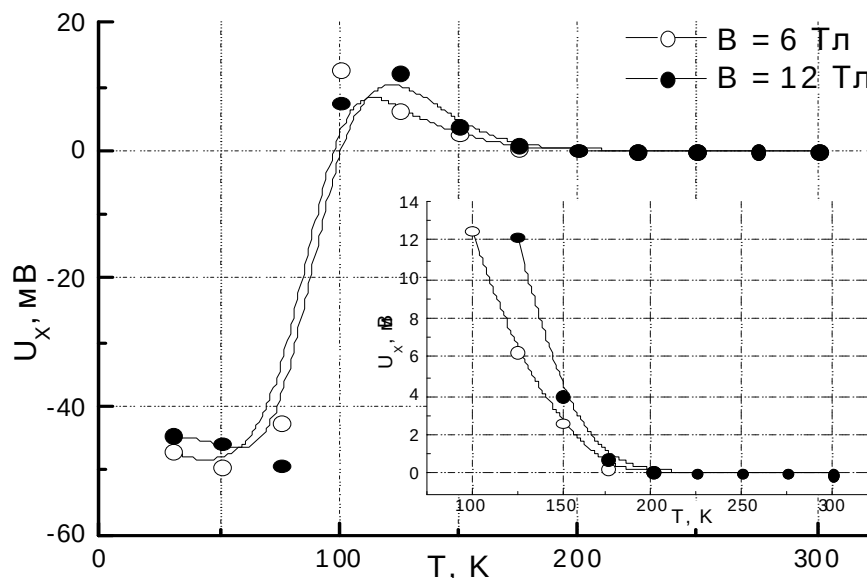


Рис. 6. Зависимость холловского напряжения от температуры структур n-Si/SiO₂/Ni в полях 6 и 12 Тл

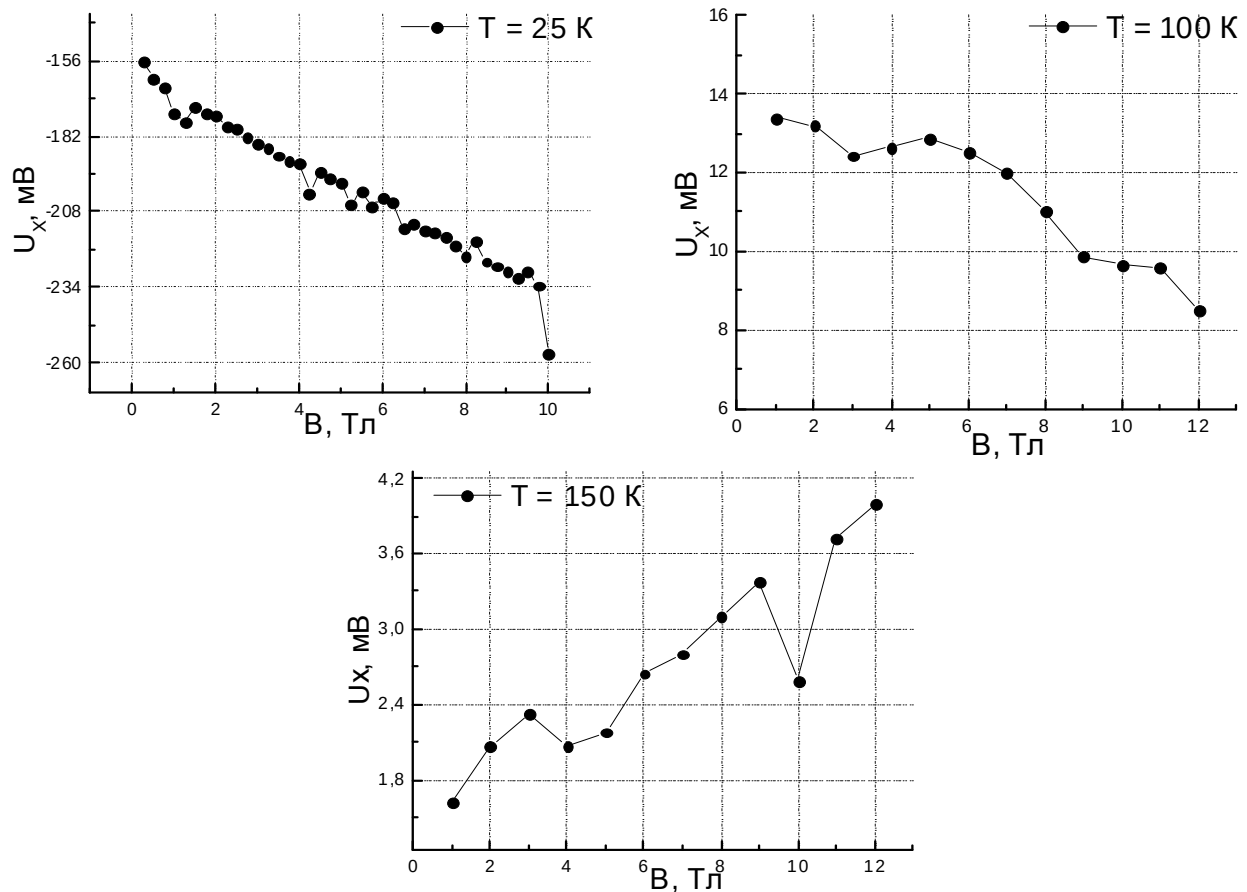


Рис. 7. Зависимость холловского напряжения от магнитного поля при температурах $T = 25, 100, 150\text{ K}$ структуры $n\text{-Si/SiO}_2\text{/Ni}$

Как было указано выше, в высокотемпературной области электроперенос осуществляется по схеме металл-полупроводник-металл, не задействуя поры, заполненные металлом, которые находятся между контактами. В данной области температур очевидно, что величина ЭДС Холла определяется кремнием, то есть с понижением температуры подвижность носителей заряда в кремнии экспоненциально падает, что вызывает экспоненциальный рост холловского напряжения (вставка к рисунку 6). При дальнейшем понижении температуры происходит резкий скачок ЭДС Холла со сменой знака (отрицательный коэффициент Холла характерен для никеля) с сохранением тенденции к экспоненциальному увеличению абсолютного значения U_x . Это свидетельствует о том что при $T \sim 100\text{ K}$ происходит изменение доминирующего механизма электропереноса. Как уже говорилось выше, при $T > 100\text{ K}$ перенос заряда осуществляется по схеме «металл в порах под контактом – полупроводник – металл в порах под контактом», не задействуя поры, находящиеся между контактами. При дальнейшем понижении температуры происходит включение в электроперенос никелевых кластеров, находящихся в контакте с кремниевой пластиной. При $T \sim 100\text{ K}$, когда U_x становится равным нулю, токоперенос происходит как по кремнию, так и по

никелевым кластерам в равной степени. В связи с тем, что в абсолютной величине холловского напряжения, а соответственно в подвижности носителей заряда не происходит изменений, на зависимости $R(T)$ на рисунке 4 не наблюдается перегибов.

Интересное явление наблюдается при $T = 100\text{ K}$, когда полевая зависимость становится аномально падающей. Такое поведение $U_x(B)$ связано опять же с конкуренцией двух различных механизмов при данной температуре. В малых полях U_x имеет большие значения, то есть работает кремний, а при увеличении поля «включается» никель. Увеличение абсолютного значения U_x происходит до температуры 75 K , после чего вступает в действие «низкотемпературный механизм переноса заряда», который описан выше. При температурах менее 75 K электроперенос осуществляется по металлическим кластерам и локализованным состояниям на границе раздела Si/SiO_2 . Кроме того, при температурах менее 75 K следует учитывать еще не решенную теоретиками проблему скачка холловской разности потенциалов на границе сред с существенно различающимися удельными электросопротивлениями.

Развитие дальнейшей работы с гетероструктурами $\text{Si/SiO}_2\text{/металл}$ с целью

расширения температурного интервала существования магниторезистивного эффекта перспективно в двух направлениях. Первое связано с созданием многослойных структур с чередующимися слоями из ферромагнитных и немагнитных металлов в порах [13–14]. Второе предусматривает применение технологии TEMPOS («Tunable Electronic Material in Pores in Oxide on Semiconductors» – «Управляемый Электронный Материал с Порами в Оксиде Кремния») [15]. Применительно к таким гетероструктурам схема TEMPOS представлена на рисунке 8.

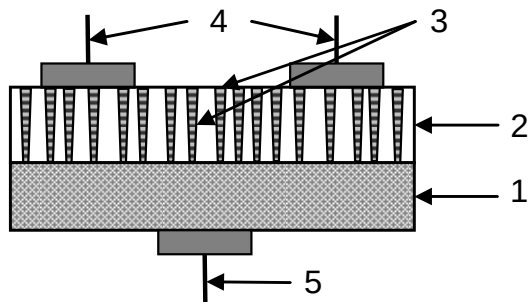


Рис. 8. Принципиальная схема TEMPOS-структуры: 1) подложка Si, 2) слой SiO₂, 3) каналы ионных треков заполненные металлом (-ами), 4) электрические контакты на SiO₂, 5) управляющий контакт на Si

TEMPOS-структуры проявляют свойства схожие со свойствами электронных устройств типа МОП-структур, обладающих нелинейными вольт-амперными характеристиками, в том числе отрицательным дифференциальным сопротивлением. В тоже время TEMPOS-структуры имеют дополнительные свободные параметры, такие как форма и плотность протравленных треков, положение, высота, диаметр, и тип материала, внедренного в треки. Это дает более широкие возможности для создания микро- и нанoeлектронных устройств. Например, более сложная внутренняя структура TEMPOS по сравнению с традиционными электронными элементами, упрощает проектирование электронных схем. Уменьшение числа периферийных элементов приводит к выигрышу в скорости функционирования и к большей надежности, в первую очередь, к радиационной

стойкости, так как добавка небольшого числа каналов передачи заряда при облучении к $\sim 10^8$ уже существующим (т.е. ионным трекам) не окажет существенного влияния на характеристики.

Заключение. Принцип работы, применяемых в настоящее время сенсоров магнитного поля, основан на четырехконтактном методе измерения эффекта Холла (датчики Холла) и изготавливаются основе полупроводниковых материалов, например, InSb и GaAs, обладающих высокой подвижностью носителей заряда и соответственно большими значениями ЭДС Холла. Более простыми в использовании являются сенсоры, в основу которых заложена зависимость электросопротивления от магнитного поля, что позволяет исключить два контакта из схемы измерения. К сожалению, небольшая величина магнетосопротивления, достигающая лишь 10 % (например, в пермаллоеве) не позволяет использовать их в качестве высокочувствительных сенсоров.

В работе показано, что технология треков быстрых тяжелых ионов дает возможность создавать поры в слое оксида кремния, впоследствии заполняемые металлом (Ni), на монокристаллическом кремнии, что органично адаптирует такую гетероструктуру к стандартной кремниевой технологии. Она может служить рабочим элементом низкотемпературного сенсора магнитного поля, что подтверждено серий экспериментов по исследованию электрофизических характеристик в широком интервале температур и магнитных полей.

Определены механизмы электропереноса реализуемые в различных температурных интервалах, а также установлено наличие положительного магниторезистивного эффекта, растущего с понижением температуры и достигающего при $T \sim 25$ K величины 1000 %, что позволяет создать высокочувствительные сенсоры для аппаратуры космического применения, функционирующей при жидководородном охлаждении ($T = 20-25$ K). Показаны перспективы дальнейшей работы с гетероструктурами типа Si/SiO₂/металл с целью расширения температурного интервала существования магниторезистивного эффекта, связанные с формированием в порах чередующихся слоев ферромагнитных и немагнитных металлов и с применением технологии TEMPOS.

Список літератури:

1. Davies, J.H. *The Physics of Low-Dimensional Semiconductors: An Introduction* / J.H., Davies // Cambridge University Press, Cambridge. 1998.
2. Harrison, P. *Quantum Wells, Wires and Dots: Theoretical and Computational Physics*. John Wiley & Sons, Chichester. 2000.
3. Канюков Е.Ю. Особенности электропереноса в наноструктурах Si/SiO₂/Ni в сильных магнитных полях / Е.Ю. Канюков С.Е. Демьянов // *Материаловедение*. 2010. 6. С. 53.
4. Sankar, S. Spin-dependent transport of Co-SiO₂ granular films approaching percolation / S., Sankar, A.E., Berkowitz, D.J., Smith // *Phys.Rev.B* 2000. В. 62. Р. 14273.
5. Стогней О.В. Изотропное положительное магнетосопротивление наногранулированных композиционных материалов Co-Al₂O₃ / О.В. Стогней, А.В. Ситников, Ю.Е. Калинин, С.Ф. Авдеев // *ФТТ*. 2007. 49. С. 158.
6. Беркутов И.Б. Положительное квазиклассическое магнетосопротивление и квантовые эффекты в германиевом

квантовом каналі / І.Б. Беркутов, В.В. Андрієвський, Ю.Ф. Комнік, О.А. Міронов // ФНТ. 2010. 36. С. 1335.

7. Zhao, B. Giant Hall effect in granular Fe-SiO₂ film / B., Zhao, X., Yan // J., Appl. Phys. 1997. 81. P. 5527.

8. Lin C.-H. Hopping conduction in granular metals / C.-H., Lin, G.Y., Wu // Physica B: Condensed Matter, 2000. B 279. P. 341.

9. Мотт Н., Дэвис Э. Электронные процессы в некристаллических веществах. Москва: «Мир», 1982.

10. Луцев Л.В. Электронный транспорт в гранулированных пленках аморфного углерода с наночастицами кобальта / Л.В. Луцев, Т.К. Звонарева, В.М. Лебедев // Письма в ЖТФ. 2001. 27. С. 84.

11. Ivanova, Yu.A. Electrochemical deposition of Ni and Cu onto monocrystalline n-Si (100) wafers and into nanopores in Si/SiO₂ template / Yu.A., Ivanova, D.K., Ivanou, A.K., Fedotov, E.A., Streltsov, S.E., Demyanov, A.V., Petrov, E.Yu., Kaniukov, D., Fink // J. Mat. Sci. 2007. 42. P. 9163.

12. Demyanov, S.E. On the morphology of Si/SiO₂/Ni nanostructures with swift heavy ion tracks in silicon oxide / S.E., Demyanov, E.Y., Kaniukov, A.V., Petrov, E.K., Belonogov, E.A., Streltsov, D.K., Ivanov, Y.A., Ivanova, C., Trautmann, H., Terryn, M., Petrova, J., Ustarroz, V., Sivakov // J. Surf. Investig. X-Ray, Synchrotron Neutron Tech. 2014. 8. pp. 805–813.

13. Baibich, M.N. Giant magnetoresistance of (001)Fe/(001)Cr magnetic superlattices / M.N., Baibich [et al.] // Phys. Rev. Lett. 1988, vol. 61, № 21, pp.2472-2475.

14. Berkowitz, A.E. Giant magnetoresistance in heterogeneous Cu-Co and Ag-Co alloy films / A.E. Berkowitz [et al.] // J. Appl. Phys. 1993. V.73, № 10, pp.5320–5325.

15. Petrov, A.V. Novel electronic devices for nanotechnology based on materials with ion tracks / A.V., Petrov [et al.] // “Physics, Chemistry and Application of Nanostructures” (Materials of the “Nanomeeting – 2005”), Minsk, Belarus, 24 - 27 May 2005, pp. 544-547.

References:

1. Davies, J.H. The Physics of Low-Dimensional Semiconductors: An Introduction / J.H., Davies // Cambridge University Press, Cambridge. 1998.

2. Harrison, P. Quantum Wells, Wires and Dots: Theoretical and Computational Physics. John Wiley & Sons, Chichester. 2000.

3. Kaniukov, E.Yu. Peculiarities of electric conductivity in Si/SiO₂/Ni nanostructures in strong magnetic fields / E.Yu., Kaniukov, S.E., Demyanov // Materialovedeniye. 2010. 6. P. 53 [in Russian].

4. Sankar, S. Spin-dependent transport of Co-SiO₂ granular films approaching percolation / S., Sankar, A.E., Berkowitz, D.J., Smith // Phys.Rev.B 2000. B. 62. P. 14273.

5. Stogney, O.V. Isotropic positive magnetoresistance of nanogranular composite materials Co-Al₂O₃ / O.V., Stogney, A.V., Sitnikov, Yu.E., Kalinin, S.F., Avdeev // Solid State Physics. 2007. 49. P. 158 [in Russian].

6. Berkutov, I.B. Positive quasiclassical magnetoresistance and quantum effects in a germanium quantum channel / I.B., Berkutov, V.V., Andrievsky, Yu.F., Comnik, O.A., Mironov // Low Temperature Physics. 2010. 36. P. 1335 [in Russian].

7. Zhao, B. Giant Hall effect in granular Fe-SiO₂ film / B., Zhao, X., Yan // J., Appl. Phys. 1997. 81. P. 5527.

8. Lin C.-H. Hopping conduction in granular metals / C.-H., Lin, G.Y., Wu // Physica B: Condensed Matter, 2000. B 279. P. 341.

9. N. Mott, E. Davis. Electronic processes in a non-crystal. Substances. Moscow: «Mir», 1982 [in Russian].

10. Lutsev, L.V. Electronic transport in granular films of amorphous carbon with cobalt nanoparticles / L.V., Lutsev, T.K., Zvонарева, V.M., Lebedev // Letters in Journal of Technical Physics. 2001. 27. 84 [in Russian].

11. Ivanova, Yu.A. Electrochemical deposition of Ni and Cu onto monocrystalline n-Si (100) wafers and into nanopores in Si/SiO₂ template / Yu.A., Ivanova, D.K., Ivanou, A.K., Fedotov, E.A., Streltsov, S.E., Demyanov, A.V., Petrov, E.Yu., Kaniukov, D., Fink // J. Mat. Sci. 2007. 42. P. 9163.

12. Demyanov, S.E. On the morphology of Si/SiO₂/Ni nanostructures with swift heavy ion tracks in silicon oxide / S.E., Demyanov, E.Y., Kaniukov, A.V., Petrov, E.K., Belonogov, E.A., Streltsov, D.K., Ivanov, Y.A., Ivanova, C., Trautmann, H., Terryn, M., Petrova, J., Ustarroz, V., Sivakov // J. Surf. Investig. X-Ray, Synchrotron Neutron Tech. 2014. 8. pp. 805–813.

13. Baibich, M.N. Giant magnetoresistance of (001)Fe/(001)Cr magnetic superlattices / M.N., Baibich [et al.] // Phys. Rev. Lett. 1988, vol. 61, № 21, pp.2472-2475.

14. Berkowitz, A.E. Giant magnetoresistance in heterogeneous Cu-Co and Ag-Co alloy films / A.E. Berkowitz [et al.] // J. Appl. Phys. 1993. V.73, № 10, pp.5320–5325.

15. Petrov, A.V. Novel electronic devices for nanotechnology based on materials with ion tracks / A.V., Petrov [et al.] // “Physics, Chemistry and Application of Nanostructures” (Materials of the “Nanomeeting – 2005”), Minsk, Belarus, 24 - 27 May 2005, pp. 544-547.

НИЗЬКОТЕМПЕРАТУРНІ СЕНСОРИ МАГНІТНОГО ПОЛЯ НА ОСНОВІ СТРУКТУР N-Si/SiO₂(Ni) ДЛЯ АПАРАТУРИ БОРТОВОГО ЗАСТОСУВАННЯ

Канюков Є.Ю., Дем'янов С.Є.

За допомогою іонно-трекової технології, що полягає в опроміненні швидкими важкими іонами, селективному травленні і електрохімічному осадженні нікелю в пори сформовані структури n-Si / SiO₂ (Ni). Вперше встановлені механізми електропереносу в температурних інтервалах ~ 300-200 K, ~ 200-100 K і ~ 100-20 K і виявлена інверсна за знаком залежність ЕРС Холла від температури, обумовлена домінуванням електронного (~ 300-100 K) або діркового типу провідності (~ 100-20 K), з відхиленням температурної залежності від експоненціального закону при температурах нижче 100 K. Виявлено позитивний магніторезистивний ефект, що сягає 1000% при температурі близько 25 K, який зменшується з ростом температури і зникає при ~ 100 K, що дозволяє створити високочутливі сенсори магнітного поля для апаратури космічного застосування, функціонує при рідинноводневому охолодженні. Визначено перспективи створення сенсорів з використанням шарів, що чергуються з феромагнітних і немагнітних металів в нанопори і показана

можливість застосування концепції «Керованого електронного матеріалу з порами в оксиді кремнію».

Ключові слова: сенсори магнітного поля, низькотемпературні сенсори, сенсори з використанням шарів, що чергуються.

LOW-TEMPERATURE MAGNETIC FIELD SENSORS BASED ON n-Si/SiO₂(Ni) STRUCTURES FOR ON-BOARD EQUIPMENT

E.Yu. Kaniukov, S.E. Demyanov

Using the ion-track technology, consisting of irradiation with swift heavy ions, selective chemical etching and electrochemical deposition of nickel in the pores, n-Si/SiO₂(Ni) structures have been formed. The mechanisms of electrotransport in the temperature ranges ~ 300-200 K, ~ 200-100 K, and ~ 100-20 K were established and an inverse temperature dependence of the Hall voltage was observed due to the dominance of the electron (~ 300-100 K) or hole conductivity type (~ 100-20 K), with a deviation of the temperature dependence of the exponential law at temperatures below 100 K. A positive magnetoresistive effect reaching 1000% at 25 K, which decreasing with increasing temperature and vanishing at ~ 100 K has been detected. It allowed creating highly sensitive magnetic field sensors for space application equipment functioning with liquid hydrogen cooling. Prospects for creating sensors using alternating layers of ferromagnetic and nonmagnetic metals in nanopores have been determined and the possibility of using the concept of a "Tunable electronic material with pores in silicon oxide" has been demonstrated.

Keywords: magnetic field sensors, low-temperature sensors, sensors using alternating layers.

НАШІ АВТОРИ

Альошин Геннадій Васильович	Українська державна академія залізничного транспорту, Україна, м. Харків доктор технічних наук, професор	Aloshin Hennadii
Баранов Георгій Леонідович	Національний транспортний університет, Україна, м. Київ доктор технічних наук, професор	Baranov Heorhii
Грабченко Валерій Володимирович	Головний центр спеціального контролю Національного центру управління та випробувань космічних засобів, Україна, смт. Городок	Grabchenko Valerii
Дем'янов Сергей Евгеньевич	ГО «НПЦ НАН Беларуси по матеріаловеденню», Беларусь, г. Минск доктор физико-математических наук	Demyanov Serhei
Кавац Віталій Віталійович	"Дніпрокосмос" філія Національного центру управління та випробувань космічних засобів, Україна, м. Дніпро	Kavats Vitalii
Канюков Егор Юрьевич	ГО «НПЦ НАН Беларуси по матеріаловеденню», Беларусь, г. Минск кандидат физико-математических наук	Kaniukov Ehor
Капустін Євген Іванович	"Дніпрокосмос" філія Національного центру управління та випробувань космічних засобів, Україна, м. Дніпро	Kapustin Yevhen
Карлов Дмитро Володимирович	Харківський національний університет Повітряних Сил імені Івана Кожедуба, Україна, м. Харків доктор технічних наук, старший науковий співробітник	Karlov Dmytro
Кирилов Олексій Іванович	"Дніпрокосмос" філія Національного центру управління та випробувань космічних засобів, Україна, м. Дніпро	Kyrylov Oleksii
Кирилова Наталія Анатоліївна	"Дніпрокосмос" філія Національного центру управління та випробувань космічних засобів, Україна, м. Дніпро	Kyrylova Nataliia
Коломійцев Олексій Володимирович	Харківський національний університет Повітряних Сил імені Івана Кожедуба, Україна, м. Харків доктор технічних наук, старший науковий співробітник, Заслужений винахідник України	Kolomiitsev Oleksii
Кошель Тетяна Анатоліївна	Харківський національний університет імені В.Н. Каразіна, Україна, м. Харків	Koshel Tetiana
Линник Микола Федорович	Харківський національний технічний університет ХПІ, Україна, м. Харків	Linnik Mykola
Ляска Іван Іванович	Центр прийому і обробки спеціальної інформації та контролю навігаційного поля Національного центру управління та випробувань космічних засобів, Україна, с. Залісці	Lyaska Ivan
Машков Олег Альбертович	Державна екологічна академія післядипломної освіти та управління, Україна, м. Київ доктор технічних наук, професор, Заслужений діяч науки і техніки України	Mashkov Oleh
Машков Віктор Альбертович	University J.E.Purkyne, Чехія, м. Усті-над-Лабем, доктор технічних наук, доцент	Mashkov Viktor

Мосов Сергій Петрович	Національний центр управління та випробування космічних засобів, Україна, м. Київ доктор військових наук, професор, Заслужений діяч науки і техніки України	Mosov Serhii
Осадчий Володимир Іванович	Головний центр спеціального контролю Національного центру управління та випробувань космічних засобів, Україна, смт. Городок	Osadchii Volodymyr
Пакшин Максим Юрійович	Центр прийому і обробки спеціальної інформації та контролю навігаційного поля Національного центру управління та випробувань космічних засобів, Україна, с. Залісці	Pakshin Maksym
Паршина Ольга Іванівна	"Дніпрокосмос" філія Національного центру управління та випробувань космічних засобів, Україна, м. Дніпро	Parshyna Olha
Петров Сергій Валерійович	Українська інженерно-педагогічна академія, Україна, м. Харків	Petrov Serhii
Присяжний Володимир Ілліч	Національний центр управління та випробування космічних засобів, Україна, м. Київ кандидат технічних наук, старший науковий співробітник	Prisyazhnyi Volodymyr
Прохоренко Олександр Миколайович	Національний транспортний університет, Україна, м. Київ	Prokhorenko Oleksandr
Романов Максим Олексійович	Головний центр спеціального контролю Національного центру управління та випробувань космічних засобів, Україна, смт. Городок	Romanov Maksym
Сабліна Валентина Іванівна	"Дніпрокосмос" філія Національного центру управління та випробувань космічних засобів, Україна, м. Дніпро	Sablina Valentyna
Ситник Вячеслав Григорович	Головний центр спеціального контролю Національного центру управління та випробувань космічних засобів, Україна, смт. Городок	Sytnik Viacheslav
Смірнов Олексій Едуардович	Регіональний центр спеціального контролю Національного центру управління та випробувань космічних засобів, Україна, с. Ластівці	Smirnov Oleksii
Стасюк Василь Михайлович	Центр прийому і обробки спеціальної інформації та контролю навігаційного поля Національного центру управління та випробувань космічних засобів, Україна, с. Залісці	Stasiuk Vasyl
Телецький Олег Миколайович	Регіональний центр спеціального контролю Національного центру управління та випробувань космічних засобів, Україна, с. Ластівці	Teletskyi Oleh
Тупкало Віталій Миколайович	Національний центр управління та випробувань космічних засобів, Україна, м. Київ доктор технічних наук, професор	Tupkalo Vitalii
Шапка Володимир Миколайович	Головний центр спеціального контролю Національного центру управління та випробувань космічних засобів, Україна, смт. Городок	Shapka Volodymyr

Подання матеріалів статей до журналу

Обсяг рукопису – не менше 4 повних аркушів українською, англійською або російською мовами.
Формат аркушу А4 (21 × 29,7 см), параметри сторінки (відступи від краю):

- зліва – 2,25 см;
- справа – 2,25 см;
- зверху – 2,25 см;
- знизу – 2,25 см.

Основний шрифт статті – Times New Roman, 12 кегль, міжрядковий інтервал (множник) – 1,0.

Для публікації необхідно представити статтю в електронній формі, яка оформлена згідно наведених нижче вимог та її роздрукований екземпляр, підписаний усіма авторами статті.

Структура тексту статті:

- постановка проблеми у загальному вигляді та її зв'язок із важливими науковими чи практичними завданнями;
- аналіз останніх досліджень і публікацій, на які спирається автор;
- формулювання мети статті (постановка завдання);
- виклад основного матеріалу дослідження з повним обґрунтуванням отриманих наукових результатів; висновки з даного дослідження і перспективи подальшого розвитку даного напрямку.

Анотації до статті виконуються українською, англійською та російською мовами та повинні розкривати:

- предмет, тему та мету роботи;
- метод (методи) або методологію проведення досліджень;
- результати досліджень;
- висновки та область застосування результатів досліджень.

Список літератури повинен включати не менш 8 джерел, які видані за останні 10 років. При цьому не менш 50% джерел повинно відноситися до іноземної періодики. Якщо основною мовою статі є українська або російська, то оформлюється два списки літератури: перший (список літератури на мові оригіналу джерела) – відповідно до ДСТУ 8302:2015 «Бібліографічне посилання: загальні положення та правила складання»; другий – на англійській мові та латиниці (транслітерації) – «References».

При поданні статті автор повинен гарантувати дійсність наведених джерел та у разі необхідності надати їх у редакційну колегію. Якщо джерело інформації має ідентифікатор цифрового об'єкту DOI, то він обов'язково наводиться наприкінці опису, наприклад doi: 10.20998/2522-9052.2017.1.09.

У відомостях про авторів українською мовою наводяться:

- прізвище, ім'я та по батькові;
- науковий ступінь, вчене звання, посада;
- назва установи, де працює автор, її місце розташування (місто, країна);
- обліковий запис автора ORCID;
- адреса електронної пошти.

Рукопис супроводжується:

- рецензією доктора наук (професора);
- витягом з протоколу засідання кафедри (відділу).

Незалежне експертне рецензування проводиться з метою критичної оцінки рукописів, що подаються для публікації, спеціалістами, які не входять до складу редакційної колегії. Редакційна колегія направляє наукові статті, що публікуються, на зовнішнє анонімне рецензування незалежними експертами.

Схема оформлення статей (обов'язкові елементи)

УДК (кегль – 11 пт).

Перелік авторів статті (кегль – 11 пт).

Перелік установ, де працюють автори (назва без скорочень, місто, країна, кегль – 11 пт).

Назва статті (кегль – 12 пт).

Анотація мовою основного тексту статті (кегль – 9 пт).

Ключові слова мовою основного тексту статті (кегль – 9 пт).

Основний текст статті (кегль – 10 пт).

Список літератури (для статей українською або російською мовами, кегль – 9 пт)

References (кегль – 9 пт).

Вимоги до елементів статті

Набір формул здійснюється в редакторах формул **MS Equation** або **MathType**. Забороняється використовувати для набору формул графічні об'єкти, таблиці та редактор Формула (formula) Word 2007-2016.

В меню "Розмір → Визначити" ввести такі розміри: звичайний – 10 пт; великий індекс – 8 пт; малий індекс – 7 пт; великий символ – 14 пт; малий символ – 10 пт.

В меню "Стиль → Визначити" ввести стиль формул – "прямий", тобто поля "Формат символів" – пусті.

Рисунки обов'язково супроводжуються центрованими підписними підписами (кегель – 9), ширина не більше 16,5 см, всі позначення виконуються кеглем не меншим ніж 8 пт.

У таблицях табличний заголовок (9 кегль) – обов'язковий.

Вимоги до оформлення References

References потрібно приводити окремим блоком, повторюючи послідовність попередньо наведеного списку літератури (при наявності), при цьому джерела англійською мовою дублюються. Джерела при цьому оформлюються за такими основними правилами (гарвардський стиль (Harvard style) оформлення BSI:

- запис завжди починається з прізвища автора, потім, через кому, ініціали (між ініціалами пропуски не ставляться), за якими в дужках вказується дата видання; два автори відокремлюються «and» без коми; кілька авторів розділяються комами, але останнє прізвище повинно бути відокремлено «and» без коми;
- витяги з публікацій, тобто назви статей журналів, глав в книгах наводять у "лапках";
- назва журналу або книги завжди виділяється курсивом;
- ім'я видавця вказується перед місцем видання;
- коми використовують для поділу елементів запису
- для джерел українською або російською мовою, що наводяться у References, назви статей журналів, глав в книгах наводять латиницею (транслітерацією) у "лапках" та перекладом на англійську мову у квадратних дужках. Онлайн-конвертер з української мови для транслітерації: <http://translit.kh.ua/?passport>.

Submission of articles for journal

The manuscript volume should be at least 4 full pages in Ukrainian, Russian or English.

Page size: A4 (21 × 29.7 cm). Page setup (margins):

- left – 2.25 cm;
- right – 2.25 cm;
- top – 2,25 cm;
- bottom – 2.25 cm.

Body text – use Times New Roman font; face – Roman; font size – 10 pt, Line spacing is set by multiplier of 1.

It is necessary to present the article in electronic form, which is finalized according to the requirements and with printed copy, signed by all authors.

Structure of the manuscript: the article should include the following elements:

- general problem statement and its relation to up-to-date scientific and practical tasks;
- analysis of recent research and publications in the relevant field;
- statement of the article tasks;
- the main part with explaining the research conducted and obtained scientific results;
- conclusions of the conducted research and prospects to be developed in the future works.

Abstract of manuscript should be written in Ukrainian, English and Russian, and explain:

- subject, theme and objective of the research;
- method (methods) or methodology of research;
- results of research;
- application possibilities of research results.

The reference list should include not less than 8 sources that have been published for the past 10 years. Herewith, not less than 50 percent of sources should be from foreign journals. Self-citation of the authors in the list of references should not exceed 30 percent. If the basic language of the article is Ukrainian or Russian, then two reference lists should be completed: the first one (reference list in original language) – according to the ДСТУ 8302:2015 “Bibliographic references: general statements and compilation rules”; the second one should be in English and in Latin characters (transliteration) – “References” (Annex B). If the reference has digital object identifier DOI, then it should be given at the end of the description, for example doi: 10. 20998/2522-9052.2017.1.09.

Information about the authors must contain:

- full name;
- scientific degree, academic title,
- position, affiliation;
- ORCID ID;
- e-mail.

The authors should:

- ensure that results of research contained in the article constitute independent and original work;
- present the original article, that has not been submitted to other journals and that has not been previously published in other publications;
- provide reliable results of the conducted research;
- recognize the contribution of all persons who influenced the research or helped to define the nature of the scientific work presented in the article;
- in case of using the work fragments by other's or borrowing other author's materials, the authors are required to provide complete bibliographic references with the obligatory indication of the author and primary source; submitted materials will not be returned to the author.

Independent expert reviewing is carried out for evaluation of articles by specialists that are not the members of the editorial board. An editorial board sends most of the scientific articles for external reviewing by independent peer reviewers.

Conflicts of interests. All the members of independent reviewing and publishing processes must reveal the information about any kinds of relations that can be considered as potential resource of conflicts of interests. This demand is also related to authors and reviewers. Editor-in-chief and editorial board members decide to publish the information revealed by authors, which is related to the potential conflicts only after agreement with the authors.

АЛФАВІТНИЙ ПОКАЖЧИК

Альошин Г. В.	Aloshin H.	64	Мосов С. П.	Mosov S.	6
Баранов Г. Л.	Baranov H.	23	Осадчий В. І.	Osadchiy V.	48
Гребченко В. В.	Grabchenko V.	48	Пакшин М. Ю.	Pakshin M.	15
Дем'янов С. Е.	Demyanov S.	76	Паршина О. І.	Parshyna O.	12
Кавац В. В.	Kavats Vitalii	12, 33	Петров С. В.	Petrov S.	44
Канюков Е. Ю.	Kaniukov E.	76	Присяжний В. І.	Prisyazhnyi V.	6
Капустін Є. І.	Kapustin Y.	33	Прохоренко О. М.	Prokhorenko O.	23
Карлов Д. В.	Karlov D.	64	Романов М. О.	Romanov M.	44
Кирилов О. І.	Kyrylov O.	33	Сабліна В. І.	Sablina V.	12
Кирилова Н. А.	Kyrylova N.	33	Ситник В. Г.	Sytnik V.	56
Коломійцев О. В.	Kolomiitsev O.	64	Смірнов О. Е.	Smirnov O.	53
Кошель Т. А.	Koshel T.	44	Стасюк В. М.	Stasiuk V.	15
Линник М. Ф.	Linnik M.	44	Телецький О. М.	Teletskyi O.	53
Ляска І. І.	Lyaska I.	15	Тупкало В. М.	Tupkalo V.	39
Машков О. А.	Mashkov O.	69	Шапка В. М.	Shapka V.	48
Машков В. А.	Mashkov V.	69			

АЕРОКОСМІЧНІ ТЕХНОЛОГІЇ

AEROSPACE TECHNOLOGIES

Науковий журнал

Випуск 1 (1)

Відповідальний за випуск: Ожінський В.В.

Технічний редактор: Мамарєв В.М.

Коректор: Литвиненко Ю. В.

Комп'ютерна верстка: Мамарєв В.М.

Свідоцтво про державну реєстрацію КВ № 22629-12529Р від 24.03.2017 р.

Підписано до друку 15.11.2017

Формат 60×84/8

Папір офсетний

Гарнітура «Times New Roman»

Ум. друк. акр. – 11,25

Друк – резогграф

Адреса редакції: Україна, 01010, м. Київ, вул. Московська, 8, тел.: (044) 281-62-98

Національний центр управління та випробувань космічних засобів